

**“DISEÑO DE DISPOSITIVO MONITOREO PARA SUPERVISAR OPERACION  
DE UN MONTACARGA”**

**NICOLAI BEDOYA BEDOYA**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE AUTOMATICA Y ELECTRONICA  
PROGRAMA DE INGENIERIA MECATRONICA  
SANTIAGO DE CALI  
2007**

**“DISEÑO DE DISPOSITIVO MONITOREO PARA SUPERVISAR OPERACION  
DE UN MONTACARGA”**

**NICOLAI BEDOYA BEDOYA**

**Trabajo de pasantía para optar el título de  
Ingeniero Mecatrónico**

**Director  
DRAGO DUSSICH  
Ingeniero Mecatrónico**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE AUTOMATICA Y ELECTRONICA  
PROGRAMA DE INGENIERIA MECATRONICA  
SANTIAGO DE CALI  
2007**

**Nota de aceptación:**

Aprobado por el Comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Mecatrónico.

---

Firma del presidente del Jurado

---

Firma Jurado

---

Firma Jurado

Santiago de Cali, 10 de Diciembre del 2007

## **CONTENIDO**

	<b>Pág.</b>
RESUMEN	<b>17</b>
INTRODUCCION	<b>18</b>
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	<b>19</b>
2. OBJETIVOS	<b>20</b>
2.1. OBJETIVO GENERAL	<b>20</b>
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	<b>20</b>
3. JUSTIFICACION	<b>22</b>
4. ANTECEDENTES	<b>23</b>
5. MARCO TEORICO	<b>24</b>
6. ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA	<b>26</b>
7. METODOLOGIA	<b>27</b>
8. IDENTIFICACION DE LAS NECESIDADES	<b>29</b>
9. GENERACION Y SELECCION DE CONCEPTOS	<b>31</b>

	<b>Pág.</b>
9.1. GENERACION DE CONCEPTOS	<b>31</b>
9.2. DESCOMPOSICION POR SUB-FUNCIONES	<b>32</b>
9.3. BUSQUEDA EXTERNA	<b>33</b>
9.4. BUSQUEDA INTERNA	<b>33</b>
9.5. ALARMA Y REGISTRO DE ALTAS TEMPERATURAS	<b>33</b>
9.6. ALARMA Y REGISTRO PARA VELOCIDADES INADECUADAS EN EL MANEJO DEL VEHICULO TIPO "MONTACARGA"	<b>34</b>
9.7. REGISTRO DE GOLPES AL VEHICULO TIPO "MONTACARGA"	<b>34</b>
9.8. TRANSFERENCIA DE DATOS, REGISTRO DE USO DEL VEHICULO TIPO "MONTACARGA"	<b>34</b>
9.9. CONCEPTOS GENERADOS	<b>35</b>
9.9.1. Transmisión de datos	<b>35</b>
9.9.2. Clave de usuario	<b>35</b>
9.9.3. Señales (sensores)	<b>35</b>
9.10. ARBOL DE CLASIFICACION DE CONCEPTOS	<b>37</b>
9.11. COMBINACION DE CONCEPTOS	<b>38</b>

	<b>Pág.</b>
9.12. SELECCION DE CONCEPTOS	<b>43</b>
9.13. MATRIZ DE TAMIZAJE DE CONCEPTOS	<b>44</b>
9.14. MATRIZ DE EVALUACION DE CONCEPTOS	<b>45</b>
9.15. ESPECIFICACIONES TECNICAS	<b>46</b>
9.16. PRUEBAS DE CONCEPTO	<b>47</b>
10. ARQUITECTURA DEL PRODUCTO	<b>48</b>
10.1. INTERACCIONES FUNDAMENTALES	<b>48</b>
10.2. INTERACCIONES INCIDENTALES	<b>49</b>
11. DISEÑO INDUSTRIAL	<b>50</b>
11.1. ASPECTOS MECANICOS	<b>50</b>
11.2. ASPECTOS ELECTRONICOS	<b>50</b>
11.3. ASPECTOS DE SEGURIDAD	<b>51</b>
11.4. SEGURIDAD EN HARDWARE	<b>51</b>
11.5. SEGURIDAD EN SOFTWARE	<b>52</b>

	<b>Pág.</b>
11.6. SEGURIDAD PARA LOS OPERARIOS	<b>53</b>
12. DISEÑO PARA MANUFACTURA	<b>54</b>
12.1. DISEÑO PARA ENSAMBLAJE (DPE)	<b>54</b>
12.2. MAXIMIZACION DE LA FACILIDAD DE ENSAMBLE	<b>54</b>
12.3 ESTIMACION DEL COSTO DE MANUFACTURA	<b>54</b>
12.4. COSTO DE COMPONENTES Y MATERIALES	<b>55</b>
12.5. MOLDEO POR INYECCION (SOPORTE SISTEMA DE CONTROL)	<b>55</b>
12.6. COSTOS FIJOS	<b>57</b>
13. PROTOTIPADO	<b>59</b>
13.1. TECNICA DE MODELADO	<b>59</b>
13.2. PLANEACION DEL PROTOTIPO	<b>59</b>
14. DISEÑO DETALLADO	<b>61</b>
14.1. SUBSISTEMA DE CONTROL	<b>61</b>
14.2. SENSORES	<b>61</b>

	<b>Pág.</b>
14.2.1. Sensor de temperatura	<b>61</b>
14.2.2. Sensor de golpes (acelerómetro)	<b>62</b>
14.2.3. Sensor de velocidad	<b>63</b>
14.3. TECLADO MATRICIAL	<b>63</b>
14.4. TRANSMISION DE DATOS	<b>64</b>
14.5. SELECCION DE UNIDAD DE PROCESAMIENTO	<b>65</b>
14.5.1. Entradas del sistema	<b>67</b>
14.5.2. Salidas del sistema	<b>68</b>
14.6. SOFTWARE DE CONTROL	<b>69</b>
14.7. DISEÑO ELECTRONICO	<b>76</b>
15. MANUAL DE FUNCIONAMIENTO	<b>77</b>
16. MANUAL TECNICO DE REPARACION	<b>78</b>
16.1. REVISION DE VOLTAJE	<b>79</b>
16.2. REVISION DE LAS ENTRADAS	<b>80</b>



	<b>Pág.</b>
16.3. REVISION DEL MICROPROCESADOR	<b>80</b>
17. CONCLUSIONES	<b>82</b>
18. FUTURAS MEJORAS	<b>84</b>
BIBLIOGRAFIA	<b>85</b>
ANEXOS	<b>86</b>

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Necesidades iniciales planteadas por el cliente	<b>29</b>
<b>Tabla 2.</b> Métrica de las necesidades	<b>30</b>
<b>Tabla 3.</b> Matriz de tamizaje	<b>44</b>
<b>Tabla 4.</b> Matriz de evaluación de conceptos	<b>45</b>
<b>Tabla 5.</b> Especificaciones finales	<b>46</b>
<b>Tabla 6.</b> Costos del sistema electrónico	<b>57</b>
<b>Tabla 7.</b> Costos totales	<b>58</b>
<b>Tabla 8.</b> Asignación de puertos	<b>66</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Caja negra	<b>31</b>
<b>Figura 2.</b> Subfunciones del sistema	<b>32</b>
<b>Figura 3.</b> Árbol de clasificación de conceptos	<b>37</b>
<b>Figura 4.</b> Driver	<b>39</b>
<b>Figura 5.</b> Raider	<b>40</b>
<b>Figura 6.</b> Ray	<b>41</b>
<b>Figura 7.</b> Ruth	<b>42</b>
<b>Figura 8.</b> G FORCE 1	<b>43</b>
<b>Figura 9.</b> Interacciones fundamentales	<b>48</b>
<b>Figura 10.</b> Interacciones incidentales	<b>49</b>
<b>Figura 11.</b> Plano soporte del sistema de control	<b>56</b>
<b>Figura 12.</b> Diseño 3D del soporte del sistema de control	<b>60</b>
<b>Figura 13.</b> LM35DZ	<b>62</b>

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 14.</b> Acelerómetro ADXL250	<b>62</b>
<b>Figura 15.</b> Speed sensor GS1012	<b>63</b>
<b>Figura 16.</b> Teclado matricial 4x4	<b>64</b>
<b>Figura 17.</b> ICEBLUE	<b>65</b>
<b>Figura 18.</b> Etapa de Procesamiento	<b>67</b>
<b>Figura 19.</b> Entradas del sistema	<b>68</b>
<b>Figura 20.</b> Salidas del sistema	<b>69</b>
<b>Figura 21.</b> Diagrama de flujo	<b>70</b>
<b>Figura 22.</b> Diagrama de flujo (transmisión de datos)	<b>71</b>
<b>Figura 23.</b> Diagrama de flujo (alarma temperatura)	<b>72</b>
<b>Figura 24.</b> Diagrama de flujo (alarma velocidad)	<b>73</b>
<b>Figura 25.</b> Etapa de regulación de voltaje	<b>73</b>
<b>Figura 26.</b> Diagrama de flujo (transmisión de datos)	<b>76</b>
<b>Figura 27.</b> Mando de control	<b>77</b>

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 28.</b> Icono EPICWIN	<b>80</b>
<b>Figura 29.</b> Menú EPICWIN	<b>81</b>

## **LISTA DE ANEXOS**

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 1.</b> Hoja de especificaciones del sensor LM35DZ	<b>86</b>
<b>Anexo 2.</b> Hoja de especificaciones del acelerómetro ADXL250	<b>96</b>
<b>Anexo 3.</b> Hoja de especificaciones del sensor de velocidad GS1012	<b>111</b>
<b>Anexo 4.</b> Planos de la estructura de soporte del sistema electrónico	<b>113</b>
<b>Anexo 5.</b> Planos tarjeta electrónica	<b>114</b>

Me gustaría agradecer la ayuda recibida por el profesor Drago Dussich, gran persona, por su buen humor y paciencia.

También gracias a la empresa **ULTRA-CARGAS**, tanto como organismo como a las personas que lo conforman, siendo también de gran ayuda por los medios y material facilitado.

Por supuesto dar agradecimientos a mi familia que al fin al cabo “soportan” mi vida diaria, quedando siempre relegados a un segundo plano, cuando en realidad intervienen en la consecución de todos mis éxitos.

A mi novia Ana Maria Villamizar por su constante estímulo intelectual e insustituible colaboración con su luz permanente.

## **RESUMEN**

En las empresas la falta de un monitoreo apropiado a sus maquinas, proporciona una perdida de tiempo en producción o funcionamiento de una parte necesaria en la empresa, generando costos por mal uso del equipo, o por fallas mecánicas.

El monitoreo es primordial para poder tener un control. El conocimiento del tiempo de uso y el usuario nos brindan información necesaria para tener un buen plan de mantenimiento y tener una estadística tanto del personal autorizado para usarla, como los daños sufridos en ella.

El poder consultar los daños o alertas diarias, genera un mejor comportamiento del operario de la maquina pudiendo prevenir daños, por mal uso o descuido y a su vez dando una vida más larga al equipo, generando menos costos a la empresa.



## **INTRODUCCION**

La vida cotidiana de la industria exige múltiples ocupaciones, como la necesidad de tener un control de los equipos los cuales son de gran importancia para el buen funcionamiento y transcurso normal sin pérdida de tiempo por daños ocurridos al no tener un monitoreo adecuado de las variables importantes.

Con el fin de desarrollar tareas de monitoreo capaces de dar resultados de operaciones diversas, programas o funciones específicas por medio de circuitos programados, permitiendo el monitoreo de un proceso en ejecución, examinando el transcurso del mismo por medio de ciertas variables seleccionadas.

Teniendo en cuenta lo anterior y basado en el cumplimiento del objetivo primordial, el monitoreo del funcionamiento de la maquinaria del vehículo tipo “montacarga”, el cual se desarrollará por medio de un microprocesador que permitirá el control del funcionamiento de tiempos de los equipos de carga en cuestión, es decir, por medio de un dispositivo el cual hará la labor de realizar una historia real de lo ocurrido en la maquinaria; lo cual permitirá a los supervisores llevar un control minucioso de las horas trabajadas y los daños en el vehículo tipo “montacarga”.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

**ULTRA CARGAS**, es una empresa domiciliada en la ciudad de Santiago de Cali la cual tiene por objeto social la prestación de servicios de maquinaria pesada y el alquiler de los equipos.

En el alquiler del vehiculo tipo “montacarga”, no hay supervisión física de su manejo y no están a cargo de personal autorizado por la empresa.

Al no tener un funcionario que supervise el óptimo y buen uso del manejo de la maquinaria y adicionando la falta de una persona idónea que la opere, a ocasionado que esta maquinaria no realice su funcionamiento adecuado y satisfaga las necesidades de los clientes, produciendo daños de gran valor en los vehículos tipo “montacarga” alquilados; al no contar con un soporte de cómo se encuentra el equipo antes de entregarlo, al recibirlo en alquiler o si en el trayecto del transporte le ha ocurrido un daño.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GENERAL

El presente proyecto tiene como objetivo:

Llevar a cabo un control eficiente sobre todos los montacargas que operan fuera de la empresa **ULTRA CARGAS** y con ello poder desarrollar programas de mantenimiento preventivo para cada equipo y/o maquinaria y contar con registros integrales de personal, de tal manera que el control de esta maquinaria sea aún más eficiente; el dispositivo permitirá supervisar los eventos ocurridos en la maquinaria, los cuales pueden causar daños en el equipo durante o después de su uso.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- El dispositivo tendrá información de las actividades del día concurrentes, en referencia a daños al equipo, velocidades críticas, máximas cargas de peso que puede levantar, determinando hora de lo acaecido.
- En la ocurrencia de una anomalía, el dispositivo cuenta con una función de registrar el operario autorizado para el manejo del vehiculo tipo “montacarga”.
- Registrar alarmas por infiltraciones no autorizadas, con el fin de evitar causar deterioro o mal funcionamiento.
- El dispositivo debe ser completamente autónomo.
- El dispositivo podrá desenvolverse en condiciones de trabajo extremas.
- Niveles de acceso para personal autorizado.
- Registro de tiempo de funcionamiento del vehiculo tipo “montacarga”.
- Concienciación del personal para el manejo de este dispositivo.
- Estimular el uso de la tecnología específica y avanzada en nuestra vida

cotidiana.

- Adaptación de los registro del dispositivo a los planes de mantenimiento con que cuenta la empresa **ULTRA-CARGAS**.

### **3. JUSTIFICACION**

Con la puesta a funcionamiento de este dispositivo se podrá deducir lo siguiente:

- Disminuir costos a la empresa debido a los malos usos del equipo alquilado.
- El registro podrá determinar el momento en que ocurrió el daño y si este fue por mal uso o por el transporte del vehículo tipo “montacarga”.
- Disminución de la cantidad de inspecciones físicas.
- Es recomendable aplicar el sistema desde un inicio a los vehículos tipo “montacarga”, en la empresa, debido a que las paradas de estas generan mayor pérdida a la empresa.
- Flexibilidad en el monitoreo y supervisión de los vehículos tipo “montacarga”.
- Aumentar la capacidad y eficacia con gestiones tempranas de los equipos.
- Contar con bases específicas y fundamentadas para establecer reclamaciones sobre el mal uso de la maquinaria alquilada.

#### **4. ANTECEDENTES**

El conducir un vehículo tipo “montacarga”, requiere habilidad y experiencia debido a que su diseño dificulta su conducción y maniobrabilidad. Un vehículo tipo “montacarga”, cargado pesa un promedio de seis veces el peso de un automóvil normal, o sea 14,000 libras. Tal vez no existan caminos bien definidos para la operación de un vehículo tipo “montacarga” y esto hace imprevisible la ruta de un área a otra.

No se debe de operar un vehículo tipo “montacarga”, salvo que el operario designado para conducir este, reciba un entrenamiento adecuado y específico para cada vehículo tipo “montacarga” a utilizar; con el propósito de poder aprovechar el mejor rendimiento a esta maquinaria pesada, la cual es vital en las operaciones de carga/descarga de mercancías, repuestos, maquinaria, entre otras.

Con el uso del monitoreo se podrá de forma periódica recolectar y analizar datos cualitativos y cuantitativos, lo cual tiene como propósito el descubrir fortalezas y/o debilidades para establecer líneas de acción y permitir soluciones en aras de poder establecer correcciones y reorientaciones técnicas en la ejecución de esta maquinaria.

## 5. MARCO TEORICO

En la actualidad, la empresa posee una gran variedad de equipos tales como, vehículos tipo “montacarga”, grúas telescópicas, camiones, cama-bajas y elevadores, con características y capacidades que permiten satisfacer las necesidades de sus clientes de igual forma cuenta con un personal capacitado y certificado en la operación, con la experiencia necesaria para el manejo de cargas y maquinaria, brindando siempre un servicio eficiente, correcto y seguro.

Cada año en Colombia se lastiman o incluso mueren operarios de vehículos tipo “montacargas”, porque no fueron capacitados ó fueron descuidados en el desempeño de su labor; Entre más empleados conozcan la operación de sus equipos, más seguro será su sitio de trabajo.

En la actualidad **ULTRA-CARGAS** también presta el alquiler del equipo sin personal capacitado por la empresa, lo cual permite una confianza en la operación de los equipos al operario que solicitó el servicio.

Los daños producidos en el transporte del equipo al lugar destinado no son verificables en su totalidad con lo cual presenta disconformidades en la empresa que solicitó el alquiler, ya que se debe entregar en buenas condiciones.

Los daños ocasionados a los vehículos cuando es transportado a su destino y el mal manejo por parte de la empresa que solicitó el servicio de “montacarga”, crean la necesidad de tener una garantía de verificación válida como soporte para reclamos por el mal manejo del vehículo tipo “montacarga”; en el momento **ULTRA-CARGAS** asume los arreglos y costos generados por los daños como también el tiempo perdido.

Los equipos en uso operados por personal de la empresa que solicitó el servicio de alquiler, no esta calificado por la empresa **ULTRA-CARGAS**, lo cual no permite una adecuada utilización y una supervisión del vehículo tipo “montacargas”.

La falla del vehículo tipo “montacargas”, provocadas por falta de pericia del operario, serán reportadas a la empresa por el personal calificado para esta labor, generando arreglos no previstos en el mantenimiento preventivo.

Las velocidades inapropiadas en el vehículo tipo “montacarga”, dificulta su conducción y maniobrabilidad, esto se convierte en un riesgo ó peligro tanto para el operador como para los individuos que se encuentren en el camino del vehículo, produciendo daños en las estructura física del vehículo, de la carga y en la estructura en la que opere.

Al contar con un soporte sobre el estado del vehículo, se logra tener una acción eficaz para mejorar aspectos operativos relevantes tales como funcionalidad, seguridad, productividad e imagen corporativa; Otorga la posibilidad de racionalizar los costos de operación.

El monitoreo permite al sistema reaccionar cuando las circunstancias así lo requieran; Se orienta a la identificación de controles débiles, insuficientes ó innecesarios y promueve su reforzamiento; El monitoreo se lleva a cabo de tres formas: a) durante la realización de actividades diarias echas por el operario; b) de manera separada por personal que no es el responsable directo de la ejecución de las actividades, como lo son el transporte del equipo y temperaturas elevadas del motor, etc.; c) mediante la combinación de ambas modalidades generando economías en costos y presupuestos de operación, liberando recursos de la empresa.

La falta de monitoreo, agota anticipadamente la vida útil de los componentes del vehículo tipo “montacargas”, dilapidando recursos escasos y no contribuye a la productividad de la empresa **ULTRA-CARGAS**.

**ULTRA-CARGAS** quiere proyectar y transmitir una imagen y conciencia de orden, disciplina y organización, lo que marca tendencias y conductas; Lo que permite una operación más eficiente, segura y confiable.



## 6. ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA

**ULTRA-CARGAS** fue fundada a principios de la década de los 60 por el Sr. **ULPIANO RODRÍGUEZ CAMPO**, inicialmente esta empresa se dedicada al almacenamiento de mercancías refrigeradas y al bodegaje.

Con el paso de los años la empresa implementó el alquiler de vehículo tipo “montacarga”, como parte integral de los procesos de almacenamiento, como también el manejo de contenedores. Desde la década de los 90, la empresa adquiere equipos que permiten la realización de trabajos especializados y montajes en alturas de hasta 50 metros con grúas telescópicas.

En la actualidad, la empresa posee una gran variedad de equipos tales como, vehículo tipo “montacarga”, grúas telescópicas, camiones, cama-bajas y elevadores, con características y capacidades que permiten satisfacer las necesidades de sus clientes y de igual forma cuenta con un personal capacitado y certificado en la operación, con la experiencia necesaria para el manejo de cargas y maquinaria, brindando siempre un servicio eficiente, correcto y seguro.

**Misión.** **ULTRA-CARGAS** es una empresa dedicada al servicio de alquiler de equipos para el transporte, movilización y elevación eficiente, correcta y segura de materiales en los sectores industriales del Valle del Cauca, Cauca y Eje Cafetero, para ello cuenta con personal experto certificado en estas operaciones y una gran variedad de equipos que le permiten siempre estar buscando la satisfacción total de nuestros clientes.

**Visión.** Para el año 2010 seremos líderes en el mercado del servicio de alquiler de equipos con y sin operadores para el transporte, movilización y elevación eficiente, correcta y segura de materiales en el sector industrial del sur occidente colombiano, implementando alianzas, elaborando estrategias para el desarrollo y diversificando los servicios.

## 7. METODOLOGIA

Como metodología se seguirá un proceso de diseño estructurado, el cual permitirá realizar el diseño; inicialmente se realizará una etapa de generación de conceptos, estos conceptos serán reforzados a través de consultas e investigaciones a través de bibliografía e internet, con el fin de conocer dispositivos modernos que realicen tareas similares; posteriormente se seleccionará el concepto mas adecuado paralelamente se realizará la documentación respectiva del diseño que comprende planos, manual de funcionamiento, mantenimiento, especificaciones del producto y todo lo relacionado con el diseño detallado, finalmente se realizará el montaje simulado con un seguimiento de su funcionamiento durante el cual se observará el desempeño y se ejecutará la puesta a punto del sistema.

Tomando en cuenta lo anterior y los problemas planteados en la justificación, se aplicó la fase, "Determinación de los requerimientos", ya que es de suma importancia conocer las necesidades del cliente ó posibles problemas; Para la recopilación de datos se puede usar las siguientes: la entrevista, el cuestionario y/o la observación. Considerando las fortalezas y debilidades que cada técnica se aplicó la entrevista, por ser una herramienta segura y aplicable a un número menor de personas.

Con el fin de determinar las funciones generales y específicas el dispositivo de monitoreo, el cual se encuentra compuesto por:

- Sensores de la variable física que se quiere monitorear.
- Codificadores de la información medida.
- Transmisores de la información.
- Decodificador de la información.
- Equipo informático destinado a almacenar y procesar la información.

Con lo anterior se obtendrán datos concretos que podrán ser obtenidos en la diaria operación de la maquinaria para ser evaluados posteriormente.

El uso de las bases de datos, permite almacenar una gran cantidad de información además proporciona las siguientes ventajas:

- Permitir un mejor control sobre la información que se almacena.
- Rápida consulta de información.
- Flexibilidad en el traslado de la información.
- Velocidad y exactitud sobre los cálculos matemáticos.
- Eliminar el bifronti de datos.
- Disminuir el manejo de datos erróneos.

## 8. IDENTIFICACION DE LAS NECESIDADES

Las necesidades en el diseño de un sistema son primordiales al iniciar un proyecto, debido a que pueden definir las especificaciones y características principales que dan forma y estructura al diseño, sin estas necesidades iniciales planteadas directamente por el cliente no hay un horizonte a seguir, en el caso específico del proyecto las necesidades iniciales planteadas por el cliente en este caso la empresa **ULTRA CARGAS**, fueron muy concretas y precisas pero determinantes, estas serán complementadas con las necesidades propias, las cuales dan un toque distintivo al sistema tanto a nivel de seguridad como de estética industrial.

**Tabla 1.** Necesidades iniciales planteadas por el cliente

Num.		Necesidad	Imp.
1	El sistema	Debe tener una buena repetibilidad.	4
2	El sistema	Debe ser de fácil ajuste e instalación.	5
3	El sistema	Debe ser estéticamente agradable.	3
4	El sistema	Debe ser de costos moderados.	4
5	El sistema	Debe ser de fácilmente accesible para su mantenimiento y reparación.	4
6	El sistema	Debe soportar un ambiente Industrial.	5
7	El sistema	Debe soportar largas jornadas de trabajo.	5
8	El sistema	Debe tener un consumo de energía óptimo.	3
9	El sistema	Permite alertar sobre temperaturas inadecuadas del equipo.	5
10	El sistema	Permite alertar las velocidades inadecuadas del equipo.	5
11	El sistema	Permite registrar golpes que hagan daño al equipo.	5
12	El sistema	Permite el acceso al equipo por medio de una clave.	5
13	El sistema	Permite la transferencia de datos almacenados.	5

Una vez definidas las necesidades iniciales, el paso a seguir es plantear las especificaciones iniciales del dispositivo, identificando su métrica y unidades correspondientes.

**Tabla 2.** Métrica de las necesidades

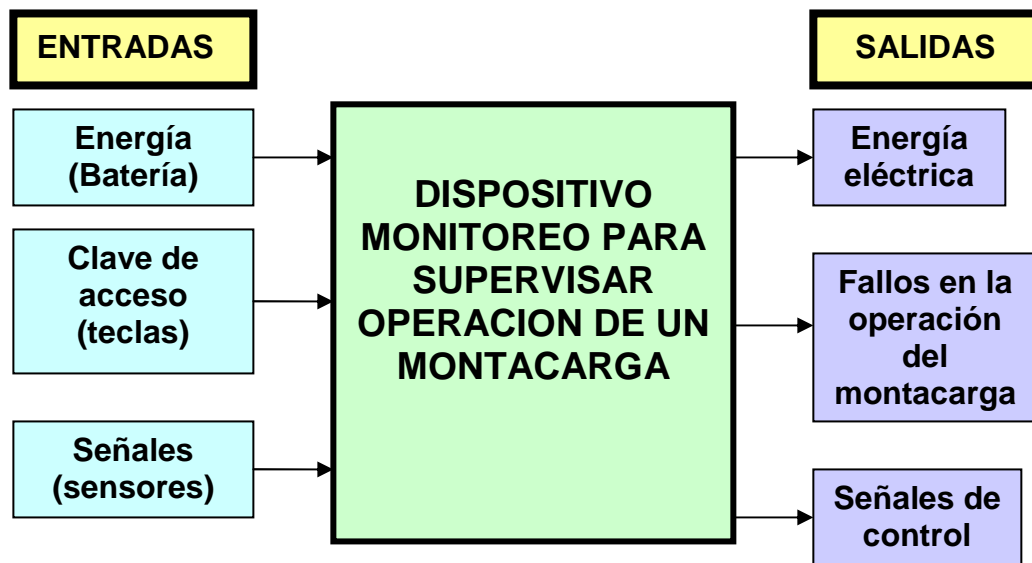
#	Necesidad	Medida	Unidad
1	1	Frecuencia de muestreo de los sensores.	ms.
2	2	Tiempo de instalación y ajuste.	Horas.
3	4	Costo del sistema de control.	Pesos.
4	7	Tiempo de funcionamiento diario.	Horas.
5	8	Potencia consumida del sistema.	Watt.
6	3	Estética.	Subj.
7	5	Herramientas requeridas para el mantenimiento.	Lista
8	10	Registro de velocidades inadecuadas y alerta luminosa.	Bit.
9	9	Registro de temperaturas inadecuadas y alerta luminosa.	Bit.
10	6	Duración en ambientes industriales (aceite, polvo, agua, calor).	Años.
11	11	Registro del sensor de golpes a la memoria.	Bit.
12	12	Costo de teclado para acceso de claves para operarios.	Pesos.
13	13	Transmisión de datos.	Bit.

## 9. GENERACION Y SELECCION DE CONCEPTOS

### 9.1 GENERACION DE CONCEPTOS

Luego de establecer las necesidades propuestas por el cliente e identificarlas con una métrica definida, el siguiente paso es realizar una generación de conceptos con lo cual se pretende definir una serie de posibles ideas para ser aplicadas al diseño del sistema y logren dar solución a cada una de las necesidades anteriormente planteadas.

**Figura 1.** Caja negra





### **9.3. BUSQUEDA EXTERNA**

La búsqueda externa de ideas tuvo una gran dificultad para encontrar información detallada sobre el funcionamiento de un dispositivo para el monitoreo de un vehículo tipo “montacarga”, ya que en Colombia no comercializan estos productos.

En el mercado mundial se tomó información de empresas en Canadá y EE.UU. Además se observaron los dispositivos, métodos y mecanismos presentes en el producto que se vende en empresas del exterior, de los cuales se observó sus funciones primordiales, los cuales fueron:

- Adquisición de datos por medio de sensores.
- Seguridad en el uso apropiado del equipo.
- Alarmas visuales hacia el operador del equipo.
- Alarmas sonoras para alertar al operario y al supervisor.
- Desactivación de alarmas solo por el supervisor.
- Transmisión de datos obtenidos en el día por el equipo.

### **9.4. BUSQUEDA INTERNA**

Para la búsqueda interna se contó con el apoyo del personal de planta, específicamente del área de taller mecánico y del área de operación dando como resultado las siguientes ideas:

- Alarma y registro de altas temperaturas.
- Alarma y registro para velocidades inadecuadas para el manejo del vehículo tipo “montacarga”.
- Registro de golpes al vehículo tipo “montacarga”.
- Transferencia de datos, registro de uso del vehículo tipo “montacarga”.

### **9.5. ALARMA Y REGISTRO DE ALTAS TEMPERATURAS**

Este sistema consiste en un registro y alarma luminosa, esta señal se encenderá o iluminará al alcanzar temperaturas no apropiadas para el uso del equipo,



obteniendo así un registro de lo acaecido durante en la operación del vehículo tipo “montacarga”.

#### **9.6. ALARMA Y REGISTRO PARA VELOCIDADES INADECUADAS PARA EL MANEJO DEL VEHICULO TIPO “MONTACARGA”**

Este sistema es similar al anterior ítem; La señal luminosa es adecuada para el conductor del vehículo para tomar acciones con respecto a la velocidad del vehículo tipo “montacarga”, este dispositivo solo se activará si la velocidad se encuentra por encima de los niveles permitidos, previniendo de esta forma accidentes críticos de la maquinaria dentro de las instalaciones como fuera de ella.

#### **9.7. REGISTRO DE GOLPES AL VEHICULO TIPO “MONTACARGA”**

El sistema permite tener un registro de impacto o “golpes” al vehículo tipo “montacarga”, que producirá un daño significativo a la estructura, este registro guardará el tiempo de uso que llevaba el equipo rodante, en un estado de encendido ó apagado, si se encontraba en operación el equipo, el registro suministrara el usuario que lo manipulaba, mediante la clave del operador y así poder determinar que operario encendió el vehículo tipo “montacarga”, al momento de producirse el evento citado con antelación.

#### **9.8. TRANSFERENCIA DE DATOS, REGISTRO DE USO DEL VEHICULO TIPO “MONTACARGA”**

El dispositivo cuenta con la posibilidad de transferencia de datos, desde el microprocesador a un computador ó varios el cual será determinado por la empresa, el anterior debe ser el adecuado para recibir los datos y poder llevar un registro de lo acontecido durante la operación de las máquinas; esto ayudará a una mejor inspección del equipo y un complemento al área de mantenimiento de las máquinas, obteniendo así una optimización en el uso adecuado al equipo rodante como el manejo de su mantenimiento.

## 9.9. CONCEPTOS GENERADOS

### 9.9.1. Transmisión del registro

- RS-232.
  - USB.
  - Bluetooth.
- Conectividad con cable
- Conectividad sin cable

**9.9.2. Clave de usuario.** Teclado matricial o crear un teclado “inteligente” entrega directamente un código correspondiente a la tecla pulsada.

**9.9.3. Señales (sensores). Sensor de temperatura:** A menudo la temperatura se define como aquella propiedad que miden los termómetros. También se introduce la temperatura basándose en alguna propiedad termométrica, por ejemplo la expansión de un líquido, un gas, la resistencia de un conductor, la tensión eléctrica generada por un par termoeléctrico (termopar), etc. En el mercado local electrónico existen numerosos tipos de sensores de temperatura o termómetro que, según la aplicación específica, pueden ser los más indicados.

Este tipo de sensores pueden dar una indicación del estado de la temperatura en grados Celsius para el caso y proporcionan una lectura en un rango de 0 a 5 voltio.

- Lm35DZ
- Platinum Thin Film RTD

**Sensor de velocidad:** En general, los sistemas que detectan la posición de un móvil son capaces de determinar también la velocidad de dicho móvil, midiendo el tiempo que tarda en recorrer un espacio determinado. El sensor de velocidad da un voltaje de acuerdo a las revoluciones por minuto a la que se encuentra el objeto en movimiento para el caso de la rueda, por ejemplo desde 0 a 10.000 RPM (revoluciones por minuto).

- Encoder linear voltage output
- GEARTOOTH SPEEDSENSOR

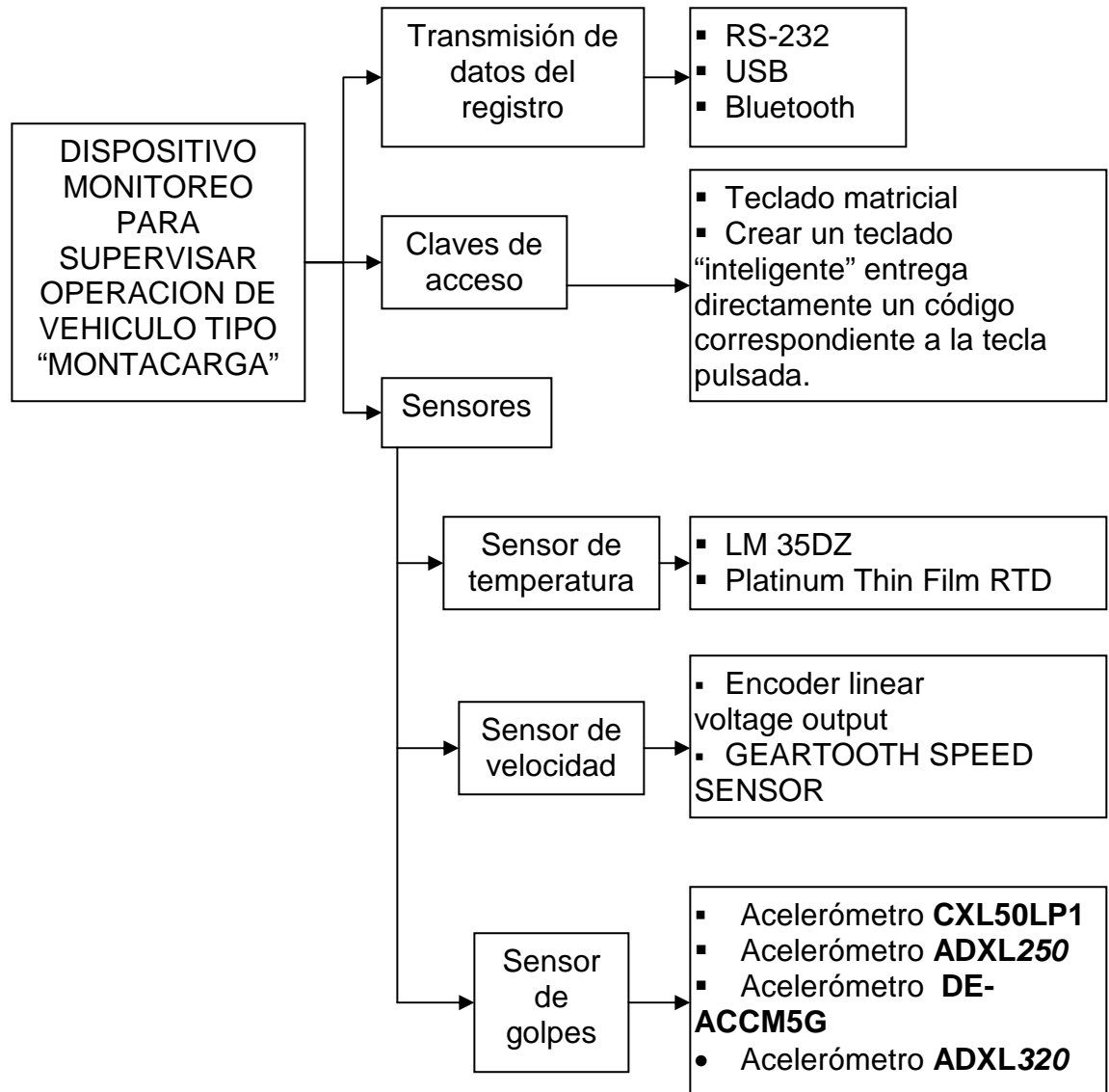
**Sensor de golpes (acelerómetro):** El sensor de golpes permite detectar si el bloque que lo posee ha colisionado o no con algún objeto que se encuentre en su trayectoria inmediata. Al tocar una superficie, una pequeña cabeza externa se contrae, permitiendo que una pieza dentro del bloque cierre un circuito eléctrico y comience a circular energía, provocando una variación de energía de 0 a 5 Voltio. Los acelerómetros son capaces de percibir aceleraciones momentáneas que son las que ocurren en un golpe fuerte, estos acelerómetros son capaces de censar desde 1 hasta 100 gravedades.

Continuando con el proceso, se desarrolló una exploración sistematizada para organizar y sintetizar los conceptos generados; mediante el árbol de clasificación de conceptos, descartándose como primera instancia los conceptos menos factibles y que implicaban mayor costo de manufactura.

- Acelerómetro **CXL50LP1**
- Acelerómetro **ADXL250**
- Acelerómetro **DE-ACCM5G**
- Acelerómetro **ADXL320**

## 9.10. ARBOL DE CLASIFICACION DE CONCEPTOS

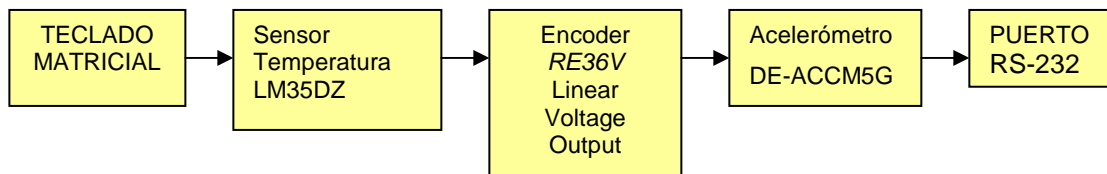
Figura 3. Árbol de clasificación de conceptos



### 9.11. COMBINACION DE CONCEPTOS

De acuerdo con los conceptos generados para cada una de las sub-función, en la siguiente tabla de combinación, se seleccionaron los más relevantes para la solución.

#### Combinación A:



La anterior combinación consiste, en un sistema en el cual los datos serán tomados o proporcionados por un teclado matricial, el cual precisa de un decodificador de teclado para poder reflejar los datos en forma digital al PIC, una vez aceptado el código el sistema empieza a verificar los sensores puestos en el primer sensor denominado es el LM35DZ, el cual entrega un valor en rangos de 0-5 Voltio correspondiente a los valores de temperatura los cuales van (-55 a 150) en grados Celsius, luego el sensor de velocidad RE36V da un voltaje de 0 a 10 Voltio, desde 0 a 20.000 RPM, por último el acelerómetro proporciona la capacidad de censar golpes en dos direcciones entregando valores de 0 a 5 Voltio. Todos los anteriores datos previamente registrados, se transmitirán en su momento por el puerto RS-232.

Para el desarrollo de este procedimiento se utilizará el nombre DRIVER.

**Figura 4. DRIVER**



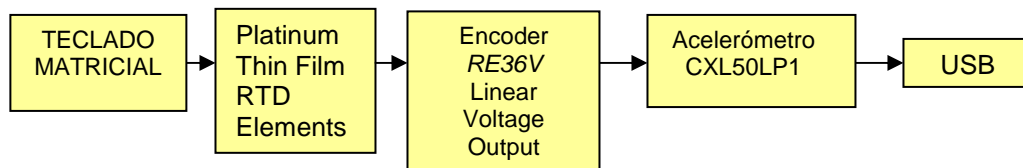
Fuente: de izquierda a derecha, foto tomada de un teclado 4x4 del mercado local 2007.

Temperature sensor [en línea]: Analog. California: © National Semiconductor Corporation, 2007. [Consultado 9 de Abril de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.national.com>.

Encoder [en línea]: RE36V. Eslovenia: Renishaw plc, 2007. [Consultado 29 de Marzo de 2007]. Disponible en internet: [www.renishaw.com/index.html](http://www.renishaw.com/index.html). Accelerometer [en línea]: Dual Axis. Houston: Dimension Engineering, 2007. [Consultado 29 de Marzo de 2007]. Disponible en internet: [www.dimensionengineering.com/index.html](http://www.dimensionengineering.com/index.html).

Foto tomada de un puerto RS-232 del mercado local 2007.

### Combinación B:



Con esta combinación se puede tomar información por medio de un teclado matricial, el cual necesita un decodificador de teclado para poder proporcionar los datos al PIC, una vez aceptado el código, se tomarán datos de los sensores; el sensor de temperatura platinum thin film RTD Elements entrega un valor de resistencia en rangos desde 18.52 a 313.71  $\Omega$  teniendo un valor mas amplio, empezando desde -200 a 500 grados Celsius( $^{\circ}C$ ); el sensor de velocidad RE36V refleja un voltaje de 0 a 10 Voltio, desde 0 a 20.000 RPM; el acelerómetro CXL50LP1 da un valor de acuerdo a la fuerza 'g' en rangos que van desde 1 a 50 g y nos da un valor de 0.1 a 4.5, los cuales transmitirán posteriormente a un PC, por medio de un puerto USB, el cual brinda la posibilidad de tener puertos físicos mas actualizados en el sistema.

Para el desarrollo de este procedimiento se utilizará el nombre RAIDER.

**Figura 5. RAIDER**



Fuente: de izquierda a derecha, foto tomada de un teclado 4x4 del mercado local 2007.

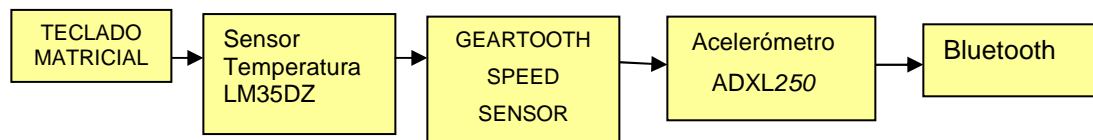
RTD Elements and RTD industrial assemblies [en línea]. Fairfield: © Sensor Scientific, Inc., 2007. [Consultado 30 de Marzo de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.sensorsci.com/rtd.htm>.

Encoder [en línea]: RE36V. Eslovenia: Renishaw plc, 2007. [Consultado 1 de Abril de 2007]. Disponible en internet: [www.renishaw.com/index.html](http://www.renishaw.com/index.html).

Products [en línea]: Lp series. San Jose: crossbow technology, Inc., 2007. [Consultado 1 de Abril de 2007]. Disponible en internet: <http://www.xbow.com/Products/iproductsoverview.aspx>.

Foto tomada de un puerto USB del mercado local 2007.

### **Combinación C:**



Esta combinación mediante un teclado “inteligente”, entrega directamente un código correspondiente a la tecla pulsada, lo cual es conveniente, por su facilidad de crear en un solo código la tecla pulsada y utiliza pocos pines, después de aceptar el código, el sistema empezará a revisar los diferentes tipos de sensores iniciando por el LM35DZ que entregan un valor de 0-5 Voltio correspondiente a la temperatura en grados Celsius de (-55 a 150); el sensor de velocidad GS1012 determina la velocidad de 0 a 20.000 RPM y entrega un rango de valores de 0 a 4

Voltio; el acelerómetro ADXL250 entrega un voltaje de acuerdo a las fuerzas “g”, aplicadas al equipo que podrá ser tomada en dos direcciones al máximo de 50 gravedades y entrega un valor de 1 a 5 Voltio y por ultimo transmitir la información por medio del sistema inalámbrico tipo “bluetooth”, dando así la oportunidad de manejar el formato RS-232 y ahorrando cables de conexión.

Para el desarrollo de este procedimiento se utilizará el nombre RAY.

**Figura 6. RAY**



Fuente: de izquierda a derecha, foto tomada de un teclado 4x4 del mercado local 2007.

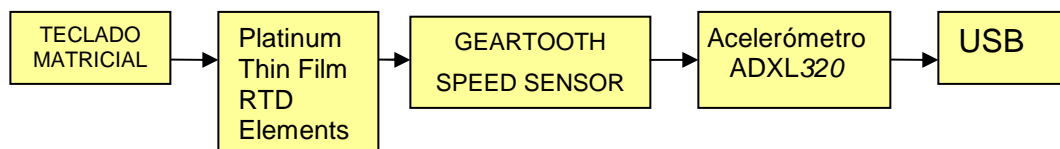
Temperature sensor [en línea]: Analog. California: © National Semiconductor Corporation, 2007. [Consultado 9 de Abril de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.national.com>.

Speed & Proximity [en línea]: Sensors. Houston: © Cherry Electrical Products, 2007. Consultado 15 de Abril de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.cherrycorp.com/english/sensors/index.htm>.

Accelerometers [en línea]: Analog. Norwood: © Analog Devices, Inc., 2007. [Consultado 22 de Abril de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.analog.com/en/index.html>.

Icono del puerto Bluetooth 2007.

### **Combinación D:**





Esta combinación consiste en un sistema el cual los datos serán tomados por un teclado matricial, mediante un teclado “inteligente” que entrega directamente un código correspondiente a la tecla pulsada, lo cual es conveniente, por su facilidad de crear en un solo código para la tecla pulsada y utiliza pocos pines, después de aceptar el código, el sistema empieza a verificar los diferentes sensores; el sensor de temperatura entrega un valor en resistencia de 18.52 a 313.71  $\Omega$ , teniendo un valor mas amplio empezando de -200 a 500  $^{\circ}\text{C}$ , el cual se acondicionará para poder entregar un valor en voltio de la temperatura; el sensor de velocidad GS1012 determina la velocidad y entrega un rango de valores de 0 a 4 Voltio; por último el acelerómetro ADXL320 que entrega un rango de 0.3 a 4.9 Voltio. Todos los anteriores datos previamente registrados, se transmitirán en su momento por el puerto USB.

Para el desarrollo de este procedimiento se procede a utilizar el nombre RUTH.

**Figura 7. RUTH**



Fuente: Fuente: de izquierda a derecha, foto tomada de un teclado 4x4 del mercado local 2007.

RTD Elements and RTD industrial assemblies [en línea]. Fairfield: © Sensor Scientific, Inc., 2007. [Consultado 30 de Marzo de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.sensorsci.com/rtd.htm>.

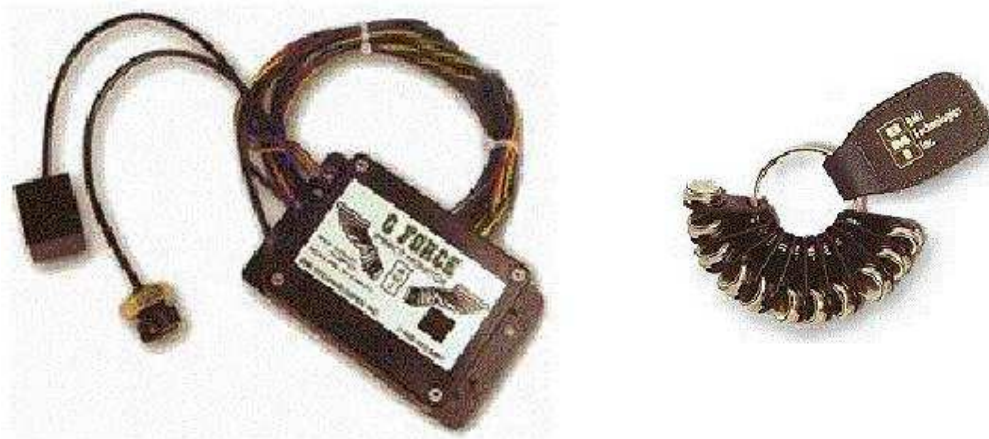
Speed & Proximity [en línea]: Sensors. Houston: © Cherry Electrical Products, 2007. [Consultado 2 de Abril de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.cherrycorp.com/english/sensors/index.htm>.

Accelerometers [en línea]: Analog. Norwood: © Analog Devices, Inc., 2007. [Consultado 3 de Abril de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.analog.com/en/index.html>, foto tomada de un puerto USB 2007.

## 9.12. SELECCION DE CONCEPTOS

Debido a que los conceptos anteriormente mencionados, solucionarían de manera acertada las necesidades planteadas en el problema de diseño, no es sencillo decidir el concepto definitivo sin antes desarrollar una evaluación detallada de los conceptos cuantificando su característica y rendimiento; Para tener un criterio de comparación se ha elegido un producto que monitorea los impactos en los vehículos tipo “montacarga”, su nombre es **G FORCE 1 LP (IMPACT MONITOR)**, de la empresa **BMI TECHNOLOGIES INC**, de características similares al proyecto propuesto en este trabajo, el cual consiste en un sensor de impactos (acelerómetro), que se encargará de dar el respectivo aviso por golpes leves ó fuertes, este aviso se mostrará por medio de un led roturado con el fin de dar aviso de los golpes y equipado con un sirena que sonará, ambos se activaran cuando el vehículo reciba un impacto de consideración, la alarma se detendrá con la llave que tiene el supervisor autorizado para inspeccionar el golpe recibido por el vehículo tipo “montacarga”.

**Figura 8.** Referencia G FORCE 1



Fuente: G Force. G Force 1 [en línea]. Alberta: © BMI Technologies Inc 2007.  
Disponible en Internet: [http://www.bmitech.com/g\\_force.php](http://www.bmitech.com/g_force.php)

### 9.13. MATRIZ DE TAMIZADO DE CONCEPTOS

**Tabla 3.** Matriz de tamizado

<b>CRITERIOS DE SELECCION</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>REF</b>
Frecuencia de trabajo de los sensores.	0	0	0	0	0
Tiempo de funcionamiento diario.	-	-	0	0	0
Estética.	+	+	+	+	0
Tiempo de instalación y ajuste.	-	-	-	-	0
Costo del sistema de control.	-	-	-	-	0
Potencia consumida del sistema.	+	+	+	+	0
Herramientas requeridas para el mantenimiento.	-	-	-	-	0
Registro de temperaturas inadecuadas y alerta luminosa.	+	+	+	+	0
Duración en ambientes industriales (aceite, polvo, agua, calor).	-	-	0	0	0
Registro del sensor de golpes a la memoria	-	-	0	0	0
Teclado para acceso de claves para operarios.	+	+	+	+	0
Transmisión de datos.	0	0	+	0	0
Registro de velocidades inadecuadas y alerta luminosa.	+	+	+	+	0
<b>Positivo</b>	5	5	6	5	-
<b>Igual</b>	2	2	4	5	-
<b>Negativo</b>	6	6	3	3	-
<b>TOTAL</b>	-1	-1	5	2	-
<b>Orden</b>	3	4	1	2	-
<b>Continuar</b>	NO	NO	SI	NO	-

En la anterior tabla, podemos percibir los diferentes valores que se le asigna a cada uno de los conceptos de acuerdo a como estos suplen las necesidades más relevantes en el desarrollo de nuestro proyecto; finalmente, de acuerdo a los valores asignados, seleccionar de manera inicial cuales serían los conceptos más apropiados para continuar en el proceso de desarrollo del producto.

## 9.14. MATRIZ DE EVALUACION DE CONCEPTOS

**Tabla 4.** Matriz de evaluación de conceptos

		VARIANTES DE CONCEPTOS									
		(Referencia)		Concepto A		Concepto B		Concepto C		Concepto D	
CRITERIOS DE SELECCIÓN	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P
Estética	3%	3	0,09	3	0,09	3	0,09	3	0,09	3	0,09
Frecuencia de trabajo de los sensores	8%	3	0,24	3	0,24	3	0,24	3	0,24	3	0,24
Tiempo de instalación y ajuste	5%	3	0,15	2	0,1	2	0,1	2	0,1	2	0,1
Costo del sistema de control	10%	2	0,2	4	0,2	4	0,2	4	0,2	4	0,2
Duración en ambientes industriales (aceite, polvo, agua, calor)	10%	4	0,4	3	0,4	3	0,4	3	0,4	3	0,4
Registro de velocidades inadecuadas y alerta luminosa.	12%	0	0	4	0,48	4	0,48	4	0,48	4	0,48
Tiempo de funcionamiento	5%	4	0,2	3	0,15	3	0,15	3	0,15	3	0,15
Potencia consumida del sistema	5%	3	0,15	3	0,15	3	0,15	3	0,15	3	0,15
Registro de temperaturas inadecuadas y alerta luminosa	12%	0	0	4	0,48	4	0,48	4	0,48	4	0,48
Registro del sensor de golpes a la memoria	12%	4	0,48	4	0,48	4	0,48	4	0,48	4	0,48
Teclado para acceso de claves para operarios	5%	0	0	3	0,15	3	0,15	3	0,15	3	0,15
Transmisión de datos	10%	3	0,3	2	0,2	3	0,3	5	0,5	4	0,4
Herramientas requeridas para el mantenimiento	3%	3	0,09	2	0,06	3	0,09	3	0,09	3	0,09
P= PONDERACION	C	2,3		3,18		3,31		3,51		3,41	
C= CALIFICACION	Orden	-		4		3		1		2	
Continuar		--		NO		NO		SI		NO	

Finalmente, para definir el concepto más apropiado entre los 4 conceptos anteriormente expuestos se eligió la combinación de nombre **RAY**, de acuerdo a los resultados obtenidos en la matriz de tamizaje se recurre a métodos no estructurados de selección de conceptos tales como el análisis de viabilidad, disponibilidad tecnológica, facilidad en la construcción del prototipo, etc.; se define de esta forma las cualidades y características que hacen de **RAY** un concepto más llamativo para continuar con el desarrollo del proyecto, tales como: portabilidad, costos, manufactura y tiene de agregado el uso de poder convertir el puerto serie RS232 en un dispositivo Bluetooth; Para la transmisión de datos no se necesita de un software en especial ni un sistema operativo para funcionar por que lleva un sistema operativo ("host stack"), Bluetooth integrado.

## 9.15. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

**Tabla 5.** Especificaciones finales

#	Necesidad	Medida	Imp.	Unid.	Valor marginal	Valor ideal
1	2	Frecuencia de trabajo de los sensores	4	ms.	<2	<1
2	3	Tiempo de funcionamiento diario	4	Horas.	>20	24
3	6	Estética	3	Subj.	>3	>5
4	10	Tiempo de instalación y ajuste.	3	Horas.	2	1
5	3	Costo del sistema de control.	4	Pesos.	<200	<120
6	11	Herramientas requeridas para el mantenimiento	3	Lista	-	-
7	5	Potencia consumida del sistema.	2	Watt.	<2	<1
8	8	Registro de temperaturas inadecuadas y alerta luminosa.	3	Bit.	-	-
9	6	Duración en ambientes industriales (aceite, polvo, agua, calor)	3	Años.	<20	>24
10	9	Registro del sensor de golpes a la memoria	5	Bit.	-	-
11	14	Teclado para acceso de claves para operarios	5	# usuarios	<50	>70
12	15	Transmisión de datos.	4	Bit.	-	-
13	7	Registro de velocidades inadecuadas y alerta luminosa.	5	Bit.	-	-

## **9.16. PRUEBA DE CONCEPTOS**

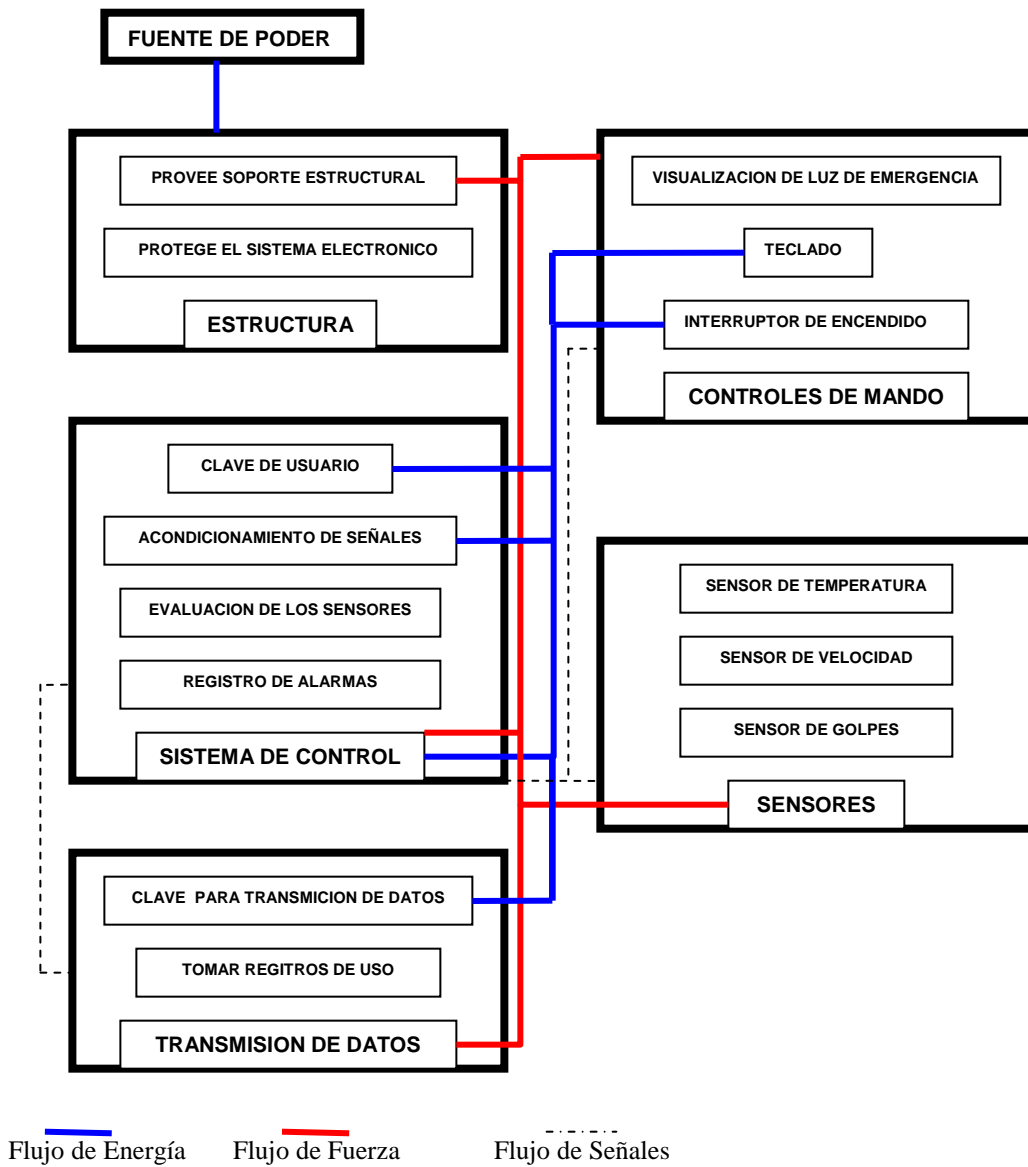
Para probar el concepto anteriormente mencionado se efectuó una simulación del montaje para monitorear el vehículo tipo “montacarga” y se recrearon los diferentes voltajes para cada tipo de sensores y comprobar que el software creado para este diseño funcione de forma apropiada. La distribución de los sensores, alarmas luminosas, posicionamiento del sistema central de monitoreo, como su toma de energía y cables de conexión con las partes periféricas.

Este diseño se sometió a algunas pruebas con el fin de ratificar que las ideas generadas para llegar al concepto definitivo eran viables.

## 10. ARQUITECTURA DEL PRODUCTO

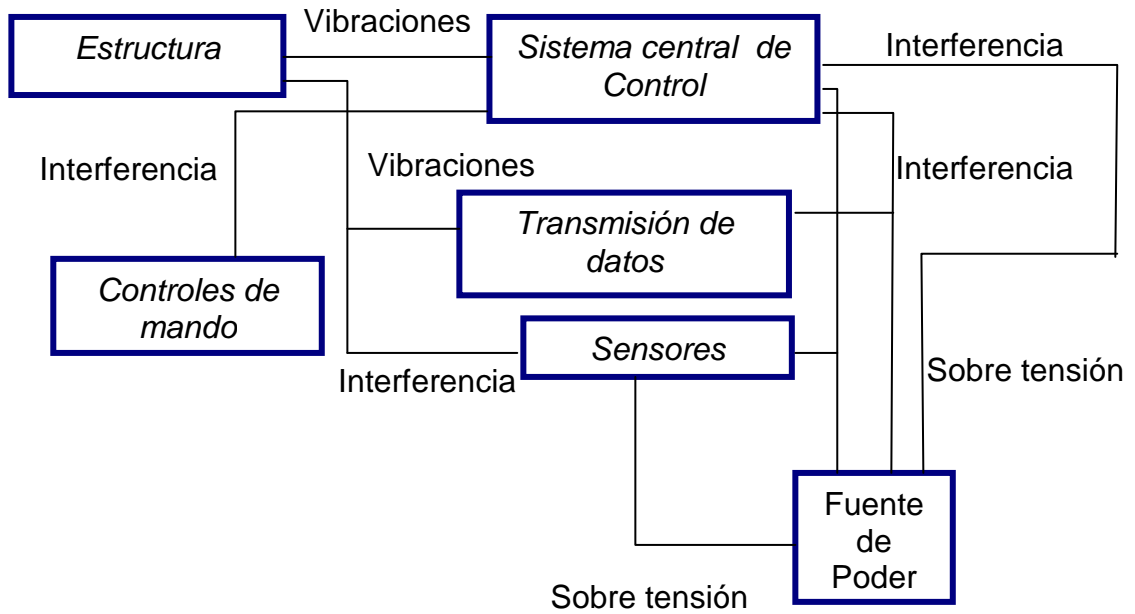
### 10.1. INTERACCIONES FUNDAMENTALES

Figura 9. Interacciones fundamentales



## 10.2. INTERACCIONES INCIDENTALES

**Figura 10.** Interacciones incidentales





## 11. DISEÑO INDUSTRIAL

Para el desarrollo del dispositivo de monitoreo para supervisar la operación de un vehículo tipo “montacarga”, se han tenido en cuenta aspectos importantes en la etapa de diseño, con el fin de lograr hacer de este, un diseño que se adapte fácilmente a su funcionamiento, contando con materiales y tecnología presente en el mercado local, logrando que el producto sea fácil de manejar, reparar y que cuente con un buen nivel de seguridad industrial con el fin de que no represente riesgos para las personas que lo manipulan.

### 11.1. ASPECTOS MECANICOS

**Materiales:** La estructura del dispositivo, fue diseñada para cumplir con los requisitos de espacio necesario para contener el sistema electrónico y aislarlo del ambiente, la investigación para realización de la estructura contó con el apoyo de Milton Cesar Mera Osorio, instructor del SENA<sup>\*</sup> regional Valle, en el CDT ASTIN<sup>\*\*</sup> encargado de inyección de plásticos y otros procesos similares; una vez terminado el diseño y los planos de la estructura, se procede a determinar que clase de molde se creara para la inyección del plástico, se debe tener en cuenta que los vehículos tipo “montacarga”, en los cuales se colocara el sistema son 40 en total, esto aumenta el costo por unidad y también afecta la decisión de que tipo de material se construirá el molde patrón, el molde se construirá en resinas resistentes al calor, el cual puede resistir alrededor de 1000 piezas antes de romperse, en ellas se inyectara el plástico y así obtener la pieza completa, igualmente para la pieza de la tapa de la estructura del dispositivo, construida con 3mm de espesor y constituida principalmente por plásticos resistentes al calor hasta de 80° centígrados.

**Recubrimientos:** Son sustancias, normalmente líquidas, que se adhieren a la superficie de otros materiales para otorgarles alguna propiedad, por ejemplo resistencia a la corrosión.

---

<sup>\*</sup> SENA: Servicio Nacional De Aprendizaje.

<sup>\*\*</sup> CDT ASTIN: Centro Nacional De Desarrollo Tecnológico y Asistencia Técnica a la Industria.

## 11.2. ASPECTOS ELECTRONICOS

**Sistema de control:** El sistema de control del dispositivo de monitoreo para supervisar la operación de un vehículo tipo “montacarga”, fue diseñado con tecnología presente en el mercado local con el fin de facilitar la consecución de los componentes que la constituyen al momento de realizar cualquier reparación técnica y disminuir costos.

Algunos de sus componentes más importantes son:

- Microprocesador PIC 16f877A.
- Reguladores de voltaje.
- Relé de estado sólido.
- Resistencias, condensadores y cristales de reloj.
- Sensores.
- Optó acopladores.

**Sensores:** Los sensores empleados fueron buscados en el mercado local y otros encontrados en el exterior, siendo esto un aspecto importante en el diseño, principalmente debido a la producción del dispositivo de monitoreo para supervisar la operación de un vehículo tipo “montacarga”, y la calidad de los sensores comprados en el exterior dará una vida útil mas prolongada; El pedido a tiempo de los sensores al extranjero y la existencia de un stock, evitará retrasos a la hora de sustituir algunos de ellos por motivo de daño o deterioro, lo cual agilizará las reparaciones que deban realizarse en caso de que algunos de sus sensores sufran daños.

**Interfaz humana:** La interfaz humana del producto es segura, fácil de utilizar e intuitiva. El espaciamiento y la posición de los botones en el teclado permiten un marcado rápido y preciso.

## 11.3. ASPECTOS DE SEGURIDAD

El dispositivo cuenta con una estructura en su parte de hardware y una serie de medidas ante ciertas eventualidades en su parte de software que lo hacen robusto en cuanto a seguridad se refiere, permitiendo que el sistema no represente riesgos a los operarios, al proceso y a sí mismo.

## 11.4. SEGURIDAD EN HARDWARE

El sistema en cuanto a hardware se refiere, cuenta con protecciones de corriente y acoples de voltajes para manejar la alimentación y proteger al microprocesador de cualquier sobre tensión.

**Entrada y salidas:** Las entradas de las señales de los sensores al microprocesador son protegidas mediante optó acopladores las cuales van a impedir una alteración en el voltaje o cortocircuito y tan solo circularía una pequeña corriente, el puerto del microprocesador PIC no correría ningún riesgo y los pulsadores son protegidos mediante circuitos antirrebote, los cuales garantizarán que solamente lleguen al microprocesador las señales indicada para ser interpretadas y dar una respuesta; de igual forma la salida hacia los dispositivos que proporcionan la potencia necesaria a las luces y control de encendido se encuentran aisladas del microprocesador mediante un relé de estado sólido, los cuales garantizan un perfecto aislamiento entre las corrientes altas, de las señales digitales del microprocesador.

**Los Optó acopladores:** El optó acoplador es un dispositivo que se compone simplemente de un paquete que contiene un LED infrarrojo y un foto detector, tal como un diodo de silicio, un par de transistores Darlington ó un SCR\*. Los optó acopladores son capaces de convertir una señal eléctrica en una señal luminosa modulada y volver a convertirla en una señal eléctrica; La gran ventaja de un optó acoplador reside en el aislamiento eléctrico que puede establecerse entre los circuitos de entrada y salida.

**Fuente de alimentación:** La alimentación de todo el sistema se hace a través de un regulador de voltaje (**DE-SW050 DIMENSION ENGINEERING**) a 5 Voltio, donde puede recibir de entrada hasta 30 Voltio, la cual se encarga de proteger el circuito contra altos voltajes o algún corto.

Cada sensor tendrá su alimentación a través del regulador de voltaje (**DE-SW050 DIMENSION ENGINEERING**) a 5 Voltio, para no transmitir corrientes parasitas que obstruyan el correcto funcionamiento del microprocesador.

---

\* El rectificador controlado de silicio (en inglés SCR: *Silicon Controlled Rectifier*) es un tipo de tiristor formado por cuatro capas de material semiconductor con estructura PNPN o bien NPNP

### **11.5. SEGURIDAD EN SOFTWARE**

El programa del microprocesador cuenta con una serie de sentencias que le permiten al software un transcurso normal de funcionamiento del sistema de monitoreo, su registro de eventos permite que se almacene y no se pierda por fallos en la energía del sistema.

### **11.6. SEGURIDAD PARA LOS OPERARIOS**

El sistema como tal ha constituido un mejoramiento en la seguridad industrial de la empresa **ULTRA CARGAS**, verificando el funcionamiento y mantenimiento de los equipos como de la carga y el personal, al haber un mejor seguimiento en el rendimiento de cada operario, deben tener mas cuidado en la manipulación de los equipos y a la vez mejorará el tiempo de inspección del equipo y su mantenimiento.

## **12. DISEÑO PARA MANUFACTURA**

### **12.1 DISEÑO PARA ENSAMBLE**

Debido a los requerimientos del dispositivo, específicamente las características de portabilidad y expansión del sistema se hace necesario que el dispositivo se construya a partir de interacciones simples, lo cual permitan una fácil instalación y remoción del sistema en caso de que tenga algún daño.

### **12.2 MAXIMIZACION DE LA FACILIDAD DE ENSAMBLE**

Este aspecto busca que los ensambles que poseen piezas que conforman el dispositivo, fueran en lo posible lo mas simple, por tal motivo se utilizan herramientas comunes y fáciles de usar, para así efectuar su ensamble, como son: destornilladores, llaves allen, alicates, pinzas y llaves de boca fija; además con el fin de utilizar la menor cantidad de herramientas para el ensamblaje y posicionamiento de los sensores, el sistema se diseño con una mínima variedad de tornillos.

### **12.3 ESTIMACION DE LOS COSTOS DE MANUFACTURA**

El análisis de los costos de manufactura se ha dividido en 2 partes con el de facilitar su estudio, el sistema consta de una parte mecánica que representa la estructura de la máquina y otra parte de control, la cual incluye sensores y el sistema central de control.

En la parte de la estructura mecánica consta de un sistema de inyección de plástico en un molde, para obtener la estructura que contendrá el sistema de control.

Por otro lado, la realización de los costos de manufactura de la unidad de control se buscó obtener reducción de costos sin sacrificar la calidad del producto, lo cual implicó una minuciosa identificación de proveedores que ofrecieran materiales y componentes necesarios a precios mas favorables, posteriormente se realizó

una selección de componentes alternos que tuvieran características similares y que nos permitieran adquirir buena calidad con costos moderados.

#### **12.4. COSTO DE COMPONENTES Y MATERIALES**

Dentro de los componentes y materiales utilizados se identificaron dos tipos de clases: los estándar y las partes propias, los cuales están constituidos por componentes presentes en el comercio local, lo cual hace de ellos un punto importante en el desarrollo del sistema ya que por el hecho de utilizarlos agiliza tanto la construcción como también la reparación ante cualquier eventualidad y de igual forma, al conseguirlos en el mercado local hace que los costos de producción y mantenimiento del dispositivo sean económicos, así mismo la consecución de un determinado repuesto o recambio ya que son construidas a partir de materia prima y constituyen principalmente la estructura física de la máquina.

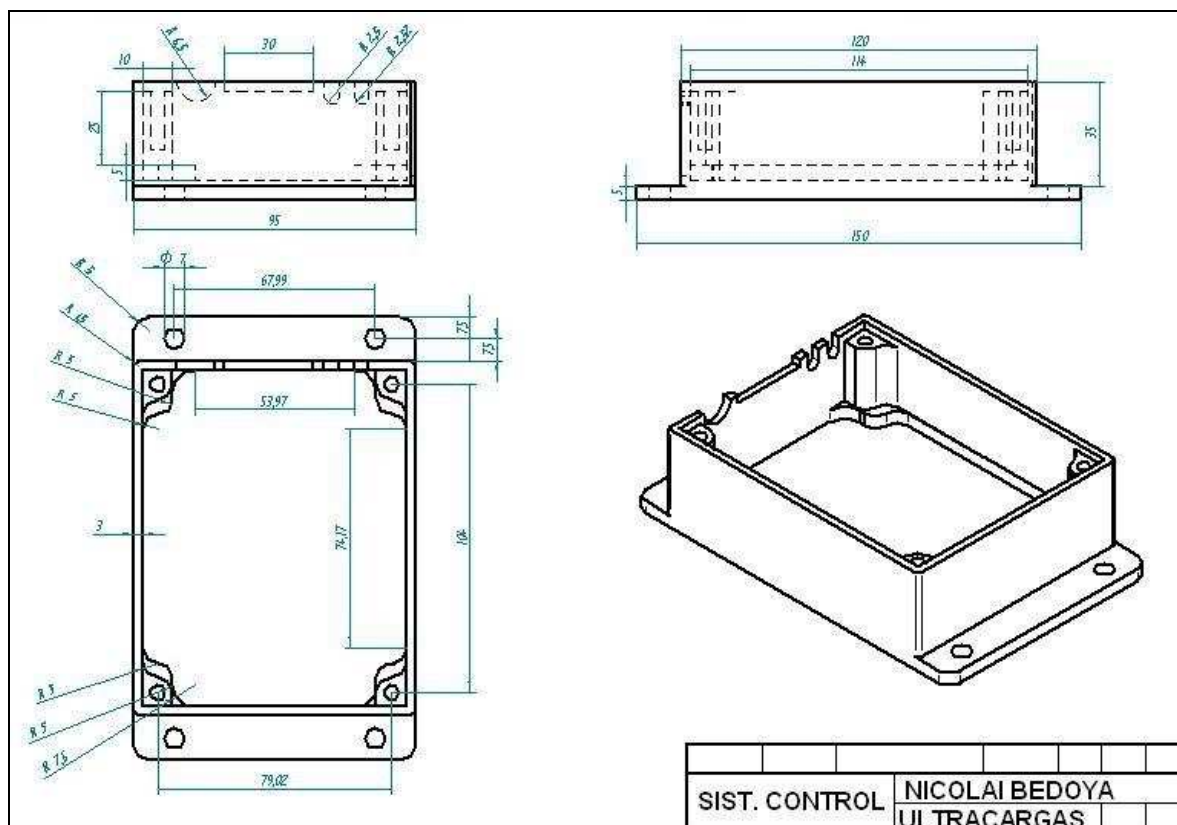
**Partes Estándar:** Se compran componentes electrónicos como: resistencias, condensadores, integrados, reguladores, relé de estado sólido, cristales de reloj y algunas partes mecánicas como tornillería en general, arandelas, tuercas, etc.

**Partes Propias:** Fabricadas según los requerimientos del diseño a partir de la materia prima, en esta parte se destaca el material plástico el cual fue tomado y transformado en las diferentes partes que componen la estructura física del sistema de control mediante procesos de inyección de plásticos.

#### **12.5. MOLDEO POR INYECCION (SOPORTE SISTEMA DE CONTROL)**

El moldeo por inyección es una de las tecnologías de procesamiento de plástico más famosas, ya que representa un modo relativamente simple de fabricar componentes con formas geométricas de alta complejidad. Para ello, se necesita una máquina de inyección que incluya un molde. En este último, se fabrica una cavidad cuya forma y tamaño son idénticos a las de la pieza que se desea obtener. Esta cavidad se llena con plástico fundido, el cual se solidifica, manteniendo la forma moldeada.

**Figura 11.** Plano soporte del sistema de control



Los planos de construcción del molde, para inyección de plásticos se encuentra en el Anexo 4.

## 12.6. COSTOS

**Tabla 6.** Costos del sistema electrónico

<b>Costos sistema electrónico</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>
Microprocesador PIC 16F877A	1	21.000	21.000
Regulador de voltaje DE-W050	4	12.000	48.000
Relé de estado Sólido M-ODC5A	3	4.000	12.000
Cristal de reloj 4 MHz	1	2.000	2.000
Condensador 30 pF	2	100	200
Condensador 1μF	4	100	400
Condensador 10μF	1	150	150
Resistencia 1K ¼ W	8	50	400
Sensor LM35DZ	1	7000	7.000
Sensor GS1012	1	70000	70.000
Sensor ADXL250	1	70000	70.000
Max 232	1	3800	3.800
ICEBLUE module	1	500000	500.000
Resistencia 1K ¼ W	4	50	200
Teclado matricial 4x4	1	10000	10.000
Led de alta intensidad	2	100	200
Foco de luz con soporte	2	12000	24.000
Juego de herramientas	1	20000	20.000
Conector Bornera 3P	3	300	900
Conector Bornera 2P	5	300	1.500
Tarjeta electrónica Principal	1	150.000	150.000
Tarjeta programador para PIC	1	60.000	60.000
<b>TOTAL</b>			<b>1.001.750</b>

Finalmente para estimar los costos totales del sistema se realiza la suma de los costos obtenidos anteriormente, adicionalmente se involucran los costos de los materiales de la parte mecánica.



**Tabla 7. Costos totales**

<b>Costos del sistema en general</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Valor Total</b>
Valor del sistema electrónico	1.001.750
Valor Material mecánico.	50.000
<b>VALOR TOTAL PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA</b>	<b>1'051.750</b>

## 13. PROTOTIPADO

### 13.1. TECNICA DE MODELADO

Para el prototipo virtual se utilizó el software de diseño **SOLID EDGE Versión 10**, el cual permitió conocer de ante mano algunas características importantes a tener en cuenta en el diseño real, además facilitar la tarea de rediseño que ha debido realizarse a través del transcurso del proyecto para lograr que el dispositivo logre la adaptabilidad y la funcionalidad exigida.

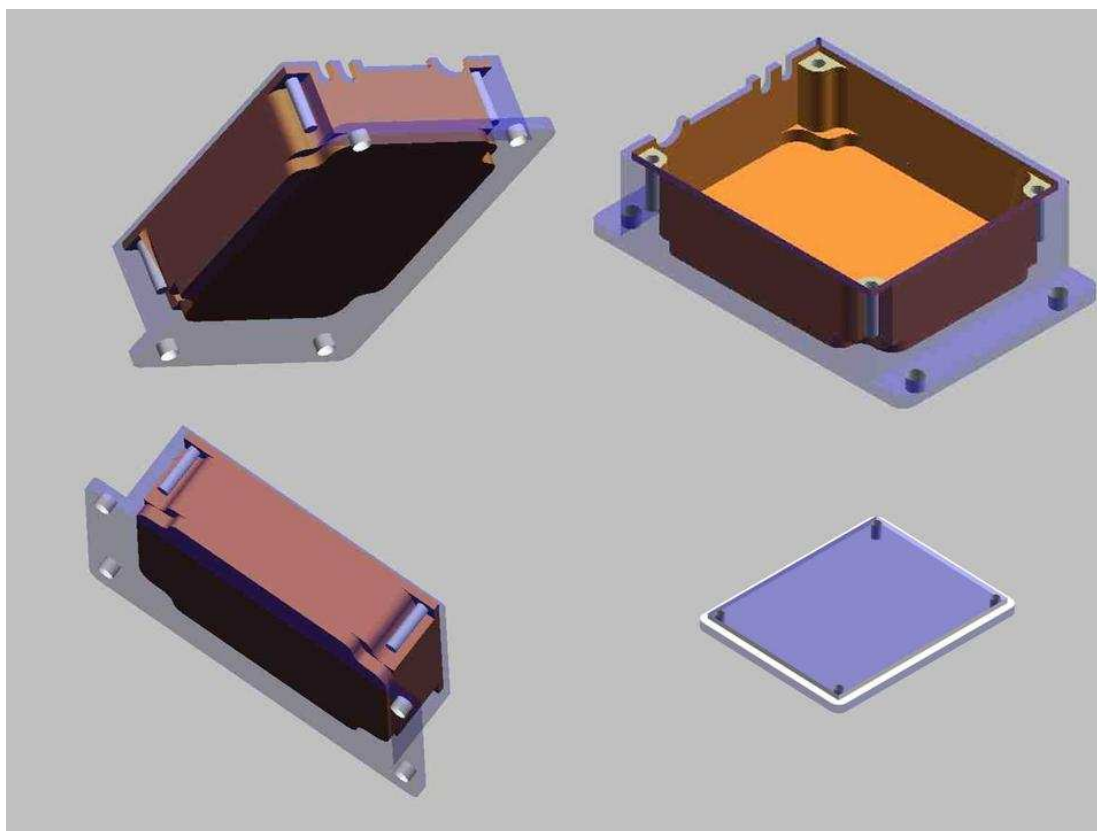
### 13.2. PLANEACION DEL PROTOTIPO

El prototipo siguiente se realizó para el soporte del sistema de control y los reguladores de voltaje, con el fin de protegerlo de los agentes externos que le pudieran atacar a las tarjetas impresas del circuito.

Teniendo en cuenta que el sitio donde serán montados, el sistema de dispositivo monitoreo para supervisar operación de un vehículo tipo “montacarga”, estará sometido a agua, polvo, calor hasta los  $80^{\circ}\text{C}$ , era necesario el diseño de una forma que contuviera el sistema de control y lo aislara de los agentes externos.

Esta estructura que se fabricara en resina y contendrá todo el sistema de control exceptuando los sensores.

**Figura 12.** Diseño 3D del soporte del sistema de control



## **14. DISEÑO DETALLADO**

El diseño detallado es una fase del proceso del producto en la cual se definen los métodos, formas y características definitivas de dicho producto, teniendo en cuenta las especificaciones y funcionalidad del mismo.

Para el diseño el dispositivo de monitoreo para supervisar la operación de un vehículo tipo “montacarga”, se tendrán en cuenta el siguiente sistema.

### **14.1. SISTEMA DE CONTROL**

El subsistema de control del proyecto contiene tres partes que al trabajar dinámicamente posibilitan el correcto funcionamiento del sistema. Estas partes son: sensores, la etapa de procesamiento o electrónica y su transmisión de datos del registro del dispositivo.

### **14.2. SENSORES**

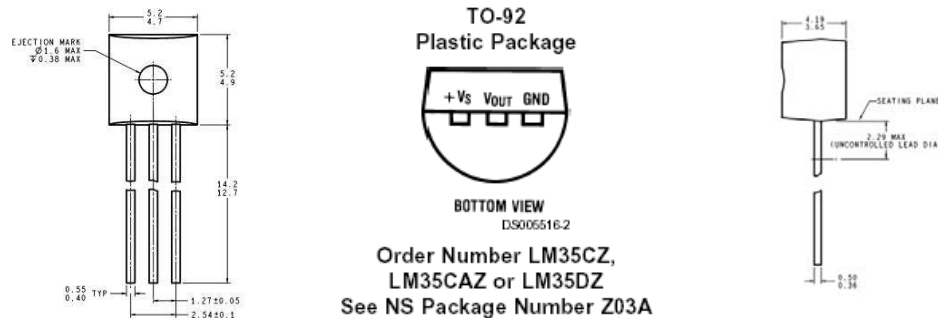
Estos dispositivos son el puente de comunicación entre el mundo físico y el digital, para este caso, estos son los encargados de establecer el estado actual de todas las variables que influyen en el control de la máquina. Dentro del dispositivo encontramos 3 sensores: uno para la temperatura, otro para el de velocidad y por último uno para golpes.

**14.2.1. Sensor de temperatura.** El sensor de temperatura estará ubicado en el radiador del vehículo tipo “montacarga”, con el fin de obtener una lectura de temperatura confiable y de fácil ubicación debido a su pequeño tamaño, con una altura de 1.92cm, ancho de 0.52cm y un largo de 0.419cm.

Su salida en voltaje es lineal y proporcional a la temperatura medida en grados Celsius el cual cambia cada  $10.0\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ ; el LM35DZ no requiere de calibración externa lo cual hace más confiable, su rango de medición esta entre los -55 a 150 grados centígrados, operando en un rango de voltage de entrada de alimentación

desde 4 a 30 Voltio, consumiendo menos de 60  $\mu\text{A}$  y con una impedancia a la salida de 0.1 W. (**Anexo 1**)

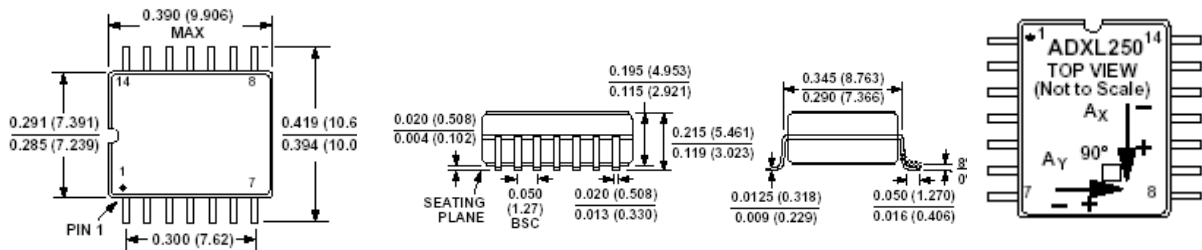
**Figura 13. LM35DZ**



Fuente: Temperature sensor [en línea]: Analog. California: © National Semiconductor Corporation 2007. [Consultado 9 de Abril de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.national.com>

**14.2.2. Sensor de golpes (acelerómetro).** El acelerómetro **ADXL250, ANALOG DEVICES**. Puede sensar en un rango de  $\pm 50$  gravedades, opera con un voltaje de entrada desde 5 Voltio, su salida es de un voltaje análogo el cual se le puede conectar directamente con el conversor análogo-digital, proporciona un rango de cambio cada 19.5 milivoltio. Su ubicación se encuentra en la estructura de soporte del microprocesador, gracias a su pequeño tamaño es de fácil ubicación y estará protegido por una carcasa la cual impide el daño interno en el sensor, proporcionando una mayor confiabilidad. (**Anexo 2**)

**Figura 14. Acelerómetro ADXL250**

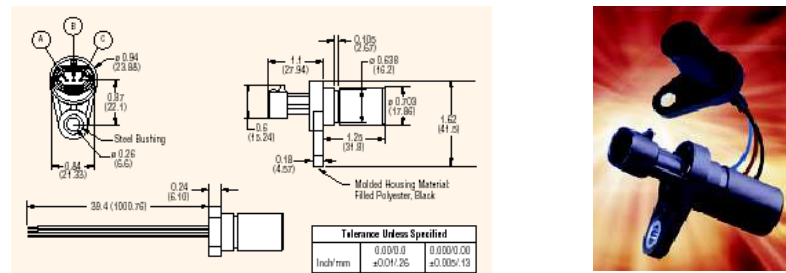


Fuente: Accelerometer [en línea]: Analog. Norwood: © Analog Devices, Inc 2007. [Consultado 22 de Abril de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.analog.com/en/index.html>

**14.2.3. Sensor de velocidad.** El sensor de velocidad GEARTOOTH SPEED SENSOR **GS1012 CHERRY CORP.** Opera con una entrada desde 5 a 24 Voltio, su salida es de un voltaje análogo máximo de 4 Voltio, el cual se conectará directamente con el conversor análogo-digital. Sus aplicación es la de sensar el movimiento de objetivos ferrosos, velocidad de ruedas, velocidad en la caja transmisión y Sistemas de frenado de antibloqueo.

Su ubicación tendrá 2 posibilidades, ya que la llanta gira en conjunto con la base que sobresale y queda expuesta para poder sensar la velocidad añadiendo que esta es ferrosa, o la de medir la velocidad en la rueda directamente. **(Anexo 3)**

**Figura 15. SPEED SENSOR GS1012**



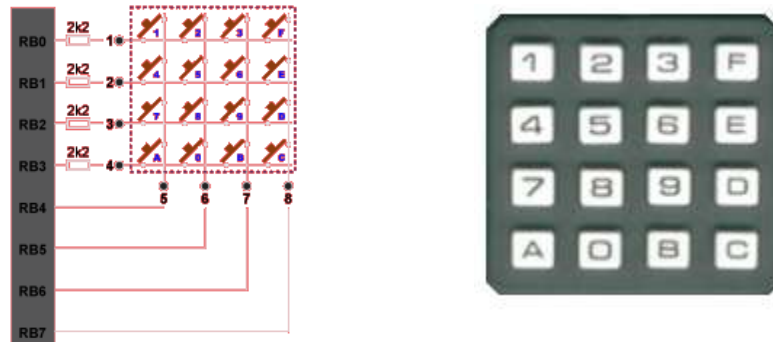
Fuente: Speed & Proximity [en línea]: Sensors. Houston: © Cherry Electrical Products 2007. [Consultado 15 de Abril de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.cherrycorp.com/english/sensors/index.htm>

## 14.3. TECLADO MATRICIAL

El teclado matricial, conseguido en el comercio local, Dispositivo de entrada de datos la cual consta de 16 teclas o pulsadores, dispuestos e interconectados en filas y columnas. Dispone de un conector SIL (Single In Line) macho de 8 pines que se corresponden con las 4 filas y las cuatro columnas de las que dispone.

En la siguiente figura, observaremos el esquema de conexión interno del teclado matricial y sus correspondientes pines de salida numerados de izquierda a derecha mirando el teclado tal y como se observa en la fotografía del teclado. Cuando se presiona un pulsador se conecta a una fila con una columna, se debe tener en cuenta este hecho, es muy fácil averiguar que tecla fue pulsada. También podemos ver el conexión con el puerto B del microprocesador PIC.

**Figura 16.** Teclado matricial 4x4



Fuente: foto tomada de un teclado 4x4 del mercado local 2007.

Las resistencias de 2k son necesarias para poder compartir el puerto del PIC independientemente del teclado y por ejemplo poder conectar un LCD o una barra de leds al mismo tiempo. Por tanto podrían cortocircuitar accidentalmente las salidas de los puertos provocando su destrucción, si se pulsara alguna tecla es ese momento con lo que al poner estas resistencias se evita este hecho y así si se produjera el cortocircuito tan solo circularía una pequeña corriente y el puerto del microprocesador PIC no correría ningún riesgo de daño.

#### 14.4. TRANSMISION DE DATOS

La transmisión de datos se hará a través de un adaptador del puerto serial **ICEBLUE** module, al que se le pueden conectar las señales puerto serie RS232 o a señales del procesador UART\*, está diseñado para alto rendimiento/velocidad de datos, configurable para una latencia corta/tiempo de espera, radio de transmisión homologado para CE, EEUU, Canadá, homologado bluetooth 2.0, homologado para las normas EMC\*\*, de seguridad y medicas, cumpliendo con las normas ambientales ROHS\*\*\*, posee una antena interna o conector para antena externo, tiene un rango de temperatura industrial y para la industria de automoción de -30 a 85 grados Celsius, el adaptador del puerto serie RS232 sustituye el cable RS232 por una conexión puerto serie sin cables. Este funciona con cualquier aparato ó

\* **UART** son las siglas de "Transmisor-Receptor Asíncrono Universal", con el fin de comunicarse con otro sistema externo.

\*\* **EMC** son las siglas de "Compatibilidad Electromagnética", el objetivo es el funcionamiento correcto de diferentes equipos que producen fenómenos electromagnéticos cuando operan.

\*\*\* **ROHS** son las siglas de "Sustancias Peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos", restringe el uso de seis materiales peligrosos en la fabricación de varios tipos de equipos eléctricos y electrónicos.

dispositivo que tenga puerto serie RS232 y puede convertir un producto con puerto serie RS232 en un dispositivo Bluetooth. Para la transmisión de datos no se necesita de un software en especial, y un sistema operativo para funcionar, por que lleva un sistema operativo ("host stack") Bluetooth integrado. Por lo tanto se puede usar con cualquier "caja negra" ó producto que lleva puerto serie RS232 o las señales del procesador UART. La velocidad de transmisión es variable entre 300 y 921600 baudios y permite una gran variedad de control de flujo.

**Figura 17. ICEBLUE**



Fuente: Wireless embedded [en línea]: IceBlue. España: Emxys Embedded instruments, 2007. [Consultado 12 de Abril de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.emxys.com/products.php?product=IceBlue>

#### **14.5. SELECCION DE UNIDAD DE PROCESAMIENTO**

Los microprocesadores de Microchip (PIC). Este fabricante tiene dispositivos de 8 y 16 bit y DSPS (Procesadores digitales de señal). Entre los de 8 bit distingue 3 gamas (baja, media y alta). Un microprocesador brinda las siguientes posibilidades:

- Economía.
- Mayor flexibilidad en la configuración de Entradas y Salidas.
- Desarrollo de tecnología a nivel nacional.
- Existe una amplia disponibilidad en el mercado.
- Permite implementación de comunicación RS-232 y 485.
- La programación se puede realizar en lenguaje C.
- Es diseñado para aplicaciones industriales.
- Se tiene experiencia en el manejo para su implementación.
- Es una herramienta fiable y flexible.
- Alta velocidad de funcionamiento.



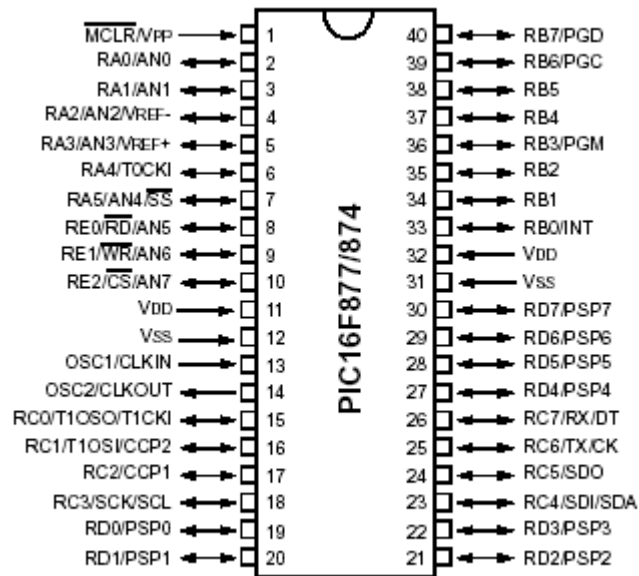
Por todas las ventajas anteriores se definió que el desarrollo del programa de control se ejecutaría en un PIC específicamente en el PIC16F877, como unidad de procesamiento debido a que sus características permiten suplir las necesidades del sistema sin incurrir en sobre diseño.

Para el diseño del circuito de control se procuró en lo posible tomar el mayor número de seguridades con el fin de obtener un sistema confiable, para ello se realizaron montajes de simulaciones por software. Como anteriormente se mencionó el procesamiento se realiza por medio de un PIC16F877 para el cual se hizo la siguiente distribución de entradas y salidas.

**Tabla 8.** Asignación de puertos

<b>Puerto PIC16F877A</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>Descripción</b>
RA0	x		Sensor temperatura
RA1	x		Sensor velocidad
RA2	x		Sensor de golpes
RA3	x		Sensor de golpes
RA4	x		Llave de ignición del vehiculo
RA5			
RB0	x		Teclado
RB1	x		Teclado
RB2	x		Teclado
RB3	x		Teclado
RB4	x		Teclado
RB5	x		Teclado
RB6	x		Teclado
RB7	x		Teclado
RC0		x	Piloto On
RC1		x	Piloto Tx
RC2		x	Relé para foco alarma temperatura
RC3		x	Relé para foco alarma velocidad
RC4		x	Relé encendido.
RC5			
RC6		x	Tx
RC7	x		Rx

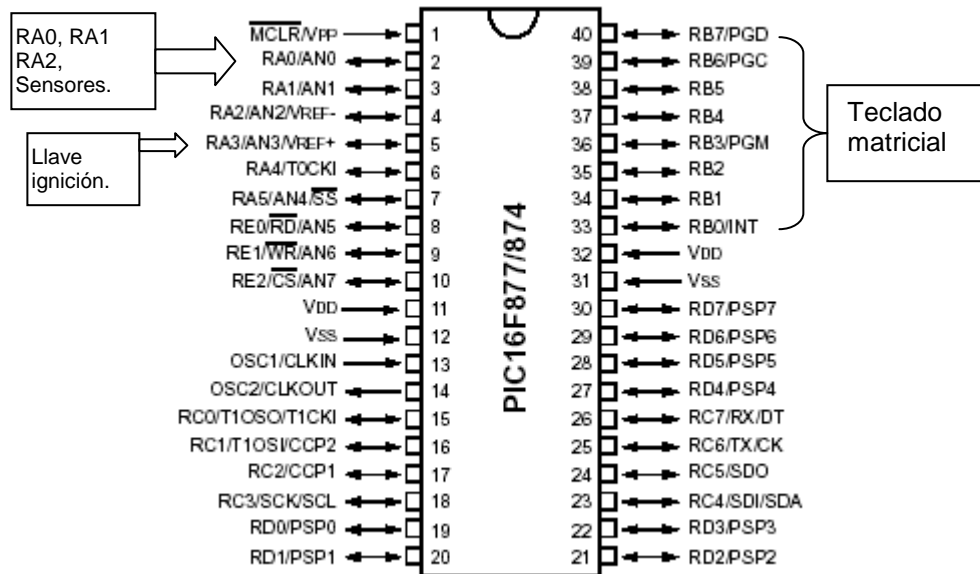
**Figura 18.** Etapa de procesamiento



Fuente: 8-bit PIC<sup>®</sup> Microcontrollers [en línea]. Arizona: © Microchip Technology Inc 2007. [Consultado 20 de Abril de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.microchip.com/ParamChartSearch/chart.aspx?branchID=1002&mid=10&lang=en&pageld=74>

**14.5.1. Entradas al sistema.** Las entradas para el sistema son los sensores mencionados con anterioridad, los cuales van conectados a optó acopladores y los pulsadores del teclado matricial, los pulsadores debido a que son accionamientos mecánicos se les realizó un circuito antirrobote para evitar señales erróneas que impidan el correcto funcionamiento del sistema.

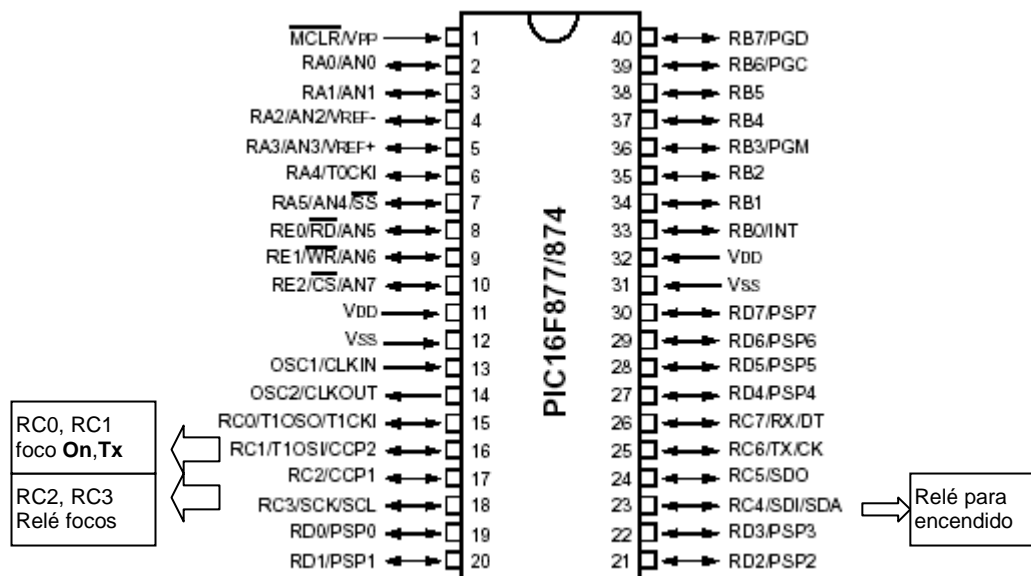
**Figura 19.** Entradas del sistema



Fuente: 8-bit PIC® Microcontrollers [en línea]. Arizona: © Microchip Technology Inc 2007. [Consultado 20 de Abril de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.microchip.com/ParamChartSearch/chart.aspx?branchID=1002&mid=10&lang=en&pagelD=74>

**14.5.2. Salidas del sistema.** Las salidas del sistema se realizaron por medio de relés de estado sólido, los cuales brindan una confiabilidad y seguridad a la tarjeta en cuanto a aislamiento a corrientes parásitas y acople de voltajes que influyan en el comportamiento correcto de la máquina.

**Figura 20.** Salidas del sistema



Fuente: 8-bit PIC<sup>®</sup> Microcontrollers [en línea]. Arizona: © Microchip Technology Inc 2007. [Consultado 20 de Abril de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.microchip.com/ParamChartSearch/chart.aspx?branchID=1002&mid=10&lang=en&pagelD=74>

## 14.6. SOFTWARE DE CONTROL

Para programar el software de control se utilizó MPLAB 6.3 de la Microchip y el compilador de lenguaje CCS PCWH, herramientas fundamentales para el desarrollo del control. El algoritmo utilizado se basó en una estructura secuencial, utilizando prioridades que permitan al sistema actuar correctamente frente a situaciones específicas y/o críticas. Para explicar con mayor claridad se desarrollaron diagramas de flujo que se muestran a continuación, los cuales explican de manera clara la filosofía de funcionamiento y dinámica del algoritmo utilizado.

Figura 21. Diagrama de flujo

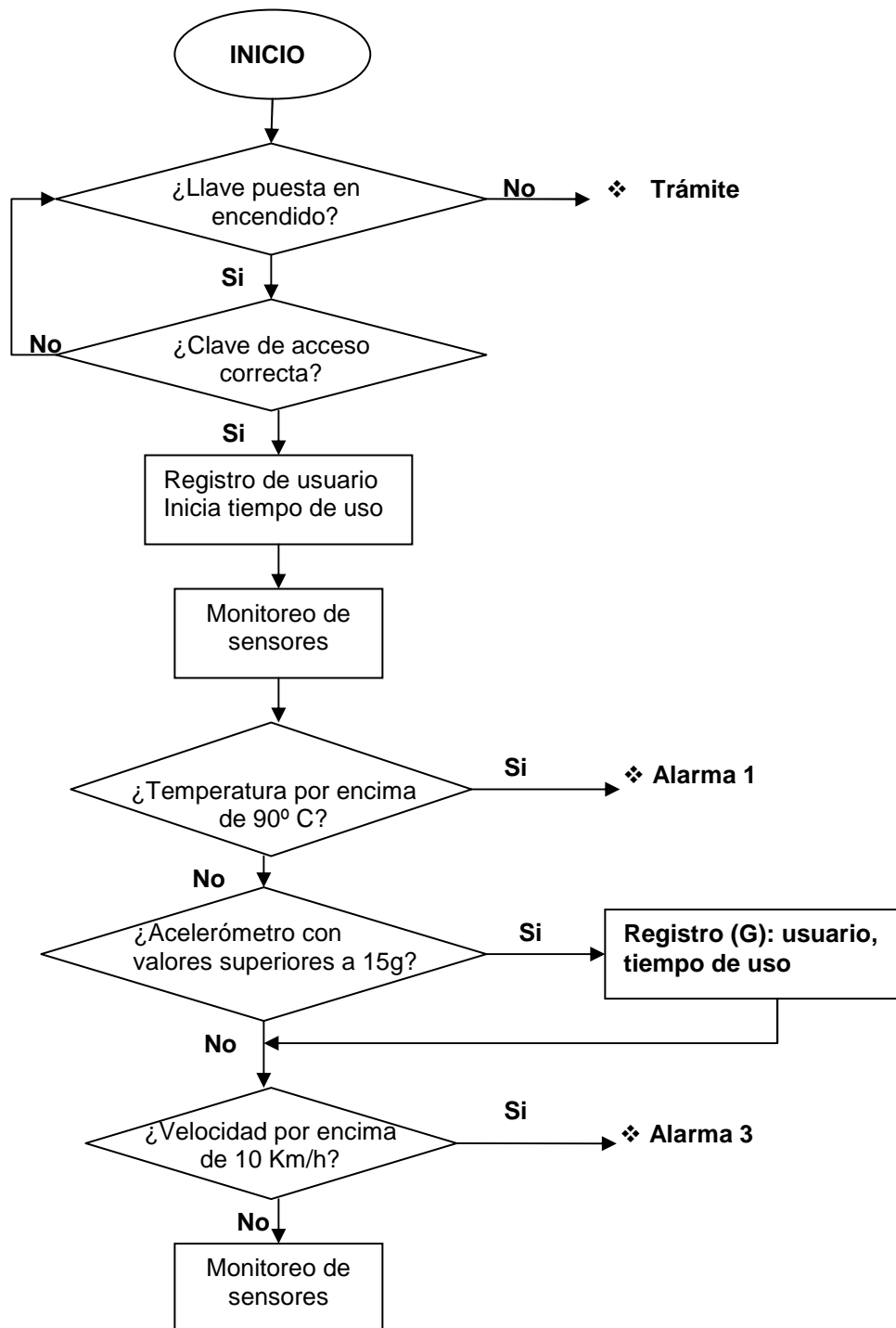
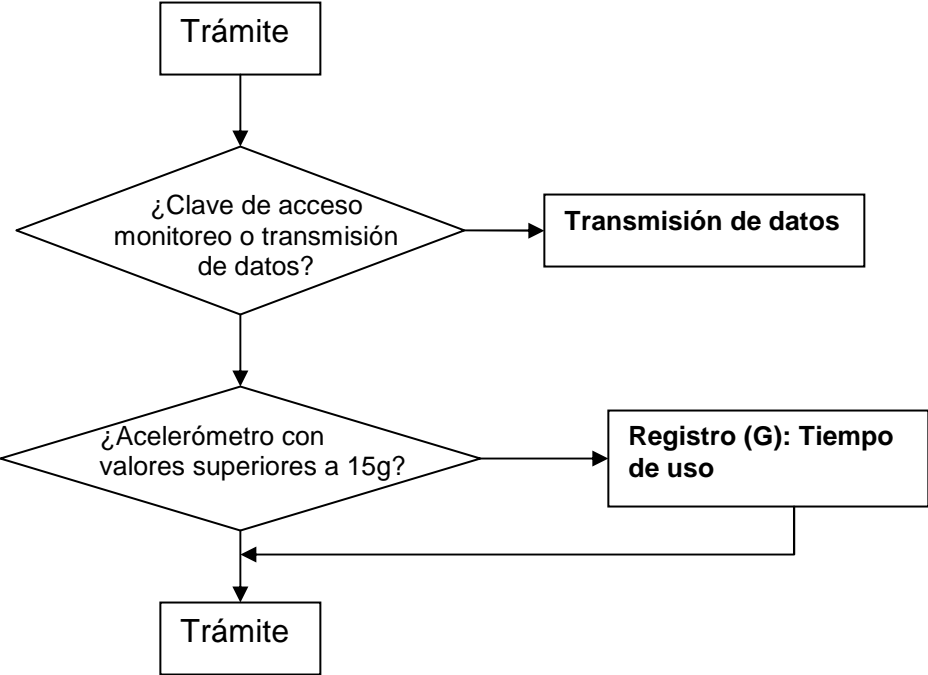
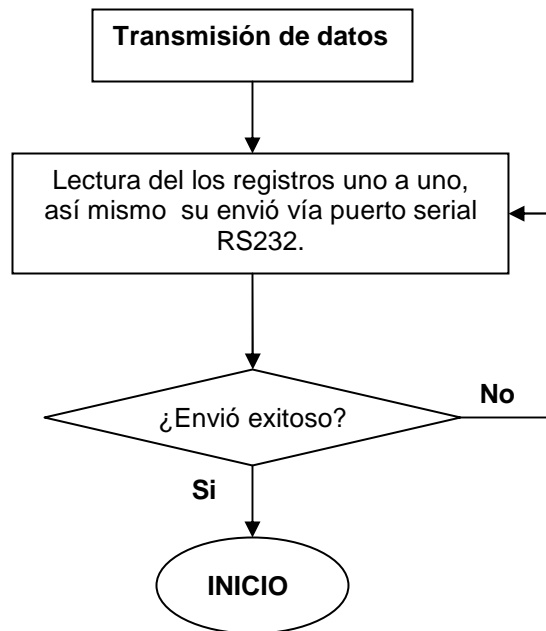


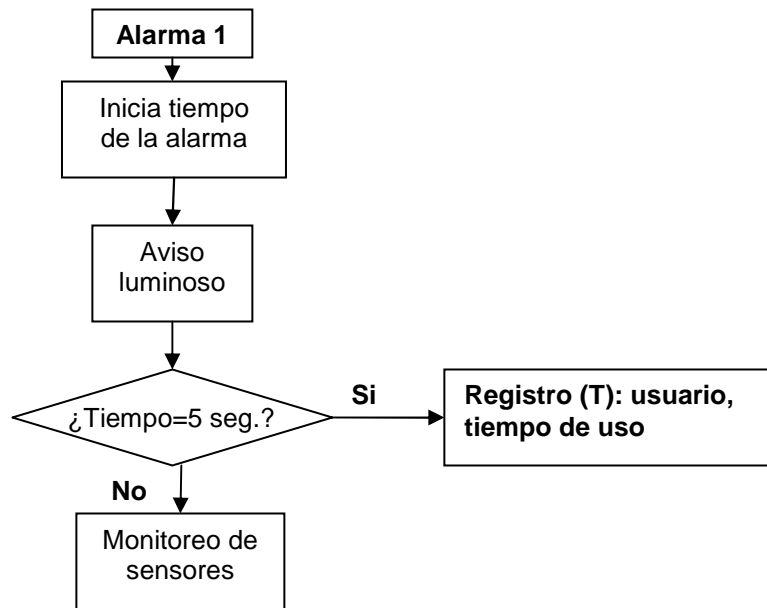
Figura 22. Trámite



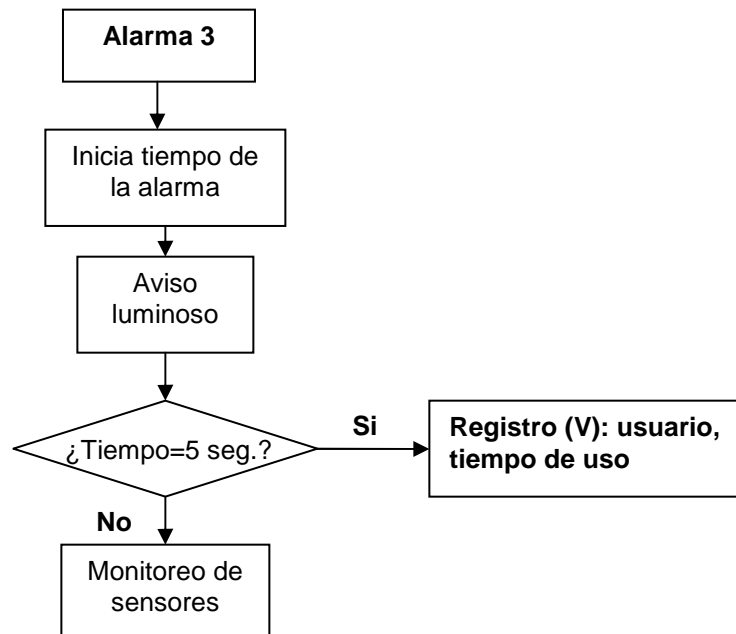
**Figura 23.** Diagrama de flujo (transmisión de datos)



**Figura 24.** Diagrama de flujo (alarma temperatura)



**Figura 25.** Diagrama de flujo (alarma velocidad)





El funcionamiento del flujograma es el siguiente:

- El programa siempre esta esperando el posicionamiento de la llave de ignición del vehículo tipo “montacarga”, para saber si se va a operar el equipo o transmitir la información del dispositivo al computador del jefe de mantenimiento.
- En el caso de ser usado el vehículo tipo “montacarga”, se debe girar la llave de ignición y a partir de este momento el programa queda a la espera del código del operario asignado con anterioridad, el cual es personal e intransferible, ya que cualquier alarma quedara registrado con el código del operario.
- El código digitado se evaluará en un ciclo, en el cual se compara con los códigos activados, este ciclo se repetirá cuantos códigos estén dentro del programa.
- Si el código es erróneo, no se podrá dar marcha al vehículo tipo “montacarga”.
- Al ingresar un código valido el programa dará una señal electrónica, que dará como resultado la entrega de energía para prender el equipo y también un aviso luminoso lo cual da la indicación de la puesta en marcha del dispositivo.
- Al aceptar el código del operario, este quedará registrado y a la vez iniciará una secuencia de conteo de tiempo, con el fin de saber el tiempo de uso de la máquina por parte del operario.
- Ahora el programa pasa al estado de monitoreo de los sensores, el cual debe revisar todos los sensores en un segundo, de esta forma evitamos cualquier situación que pase, en el uso del vehículo tipo “montacarga”.
- El primer sensor que se revisará será el de temperatura, el cual es vital para el buen funcionamiento del equipo y evitará cualquier daño costoso y de tiempo para el cliente que ha solicitado el servicio.
- Una vez el sensor de temperatura sobrepase los 90 grados centígrados, el programa activa la alarma para temperatura alta (T), esta alarma activará el incremento de un contador máximo hasta 5 segundos, después de esto se registrará el fallo con el código de usuario y el tiempo de uso del equipo, el contador vuelve a cero una vez a sido registrado la alarma, a su vez el programa activa una señal de salida, la cual va a un relé que se encargará de prender un foco de color rojo, en la cabina del operario del vehículo tipo “montacarga”.
- El programa después del evento o no seguirá con el siguiente sensor a verificar que es el de golpes, si el acelerómetro nos entrega unas fuerzas superiores a 15 gravedades, se considera una fuerza lo suficiente para poder dañar el equipo.

- Es tipo de evento no genera alarma visible para el operario, pero si quedará registrado la alarma (**G**), con el usuario correspondiente, como también en que tiempo de uso fue generada la alarma.
- El programa después de haber revisado la etapa anterior y registros si los hubo seguirá con el siguiente sensor, el cual es el de velocidad.
- El sensor de velocidad proporciona progresivamente sus cambios, el programa tiene un límite de velocidad permitido el cual será de 10 km/h, una vez sobrepase este límite, se activará una alarma, el microprocesador generará una salida que se conectará a un relé que dará energía para prender un foco de color amarillo, que indica al operario la alta velocidad que lleva el equipo, cada vez que suceda este acontecimiento el programa incrementará un valor, máximo de 5 segundos después de sobrepaso, se registrará la alarma (**V**), con el correspondiente usuario y el tiempo de uso que llevaba el equipo.
- Una vez este registrado la falla, se reiniciara nuevamente en cero el conteo del contador de los sobre pasos de velocidad sin corrección por parte del operario.
- Una vez terminado el ciclo por los tres sensores vuelve a comenzar, de esta forma en 1 segundo, se revisará el estado de los sensores, dando un margen pequeño para cualquier eventualidad que ocurriera en esa fracción de tiempo.
- En el caso de girar de nuevo la llave de ignición el programa saldrá de su ciclo y volverá al principio esperando un nuevo uso del equipo.
- En caso del no uso del vehículo tipo “montacarga”, se podrá tener acceso a la otra parte del programa en la que se encarga de la transmisión de datos, al computador designado para recibir estos datos y poder añadirlos al manejo de mantenimiento de los equipos y control del personal a cargo de los vehículos tipo “montacarga”.
- En la posición de apagado de la llave de ignición, el programa queda a la espera de la ejecución del código para activar la comunicación de los registros guardados en el microprocesador.
- Al verificar que sea el código correcto el programa dará inicio a su recorrido por los registros uno a uno y los enviará por medio de los puertos dispuestos para esta comunicación.
- Al terminar de enviar todos los registros el programa pasa a verificar el envío exitoso de los datos, con el fin de tener una buena capacidad de memoria disponible para guardar las fallas en el vehículo tipo “montacarga”, después de enviar los datos se borrarán para poder guardar los nuevos acontecimientos.

- Si el equipo va a hacer transportado, se presionara la letra **C**, el cual iniciara el programa para dar registro de algún daño hecho en el trasporte del equipo.
- Si el equipo a llegado a la empresa se deberá dar giro a la llave de ignición, apagando el vehiculo, para su posterior transmisión de datos al la empresa.
- Si el equipo en cualquier ocasión es detenido por fallas eléctricas el dispositivo no perderá la información de lo acontecido hasta el momento de detención del vehiculo.

## 14.7. DISEÑO ELECTRONICO

Para explicar el diseño electrónico se tomarán los siguientes subsistemas:

- Alimentación del circuito.
- Entradas.
- Procesamiento.
- Salidas.

**Alimentación del circuito:** La alimentación de todo el sistema se hace a través de un regulador de voltaje (**DE-SW050 DIMENSION ENGINEERING**) a 5 Voltio, donde puede recibir de entrada de hasta 30 Voltio, la cual se encargaría de proteger el circuito contra altos voltajes o algún corto.

**Figura 26.** Etapa de regulación de voltaje



Fuente: DC voltaje regulator [en línea]: DE-SW050 Switching. Houston: Dimension Engineering 2007. [Consultado 7 de Abril de 2007]. Disponible en internet: [www.dimensionengineering.com/index.html](http://www.dimensionengineering.com/index.html)

## 15. MANUAL DE FUNCIONAMIENTO

**Figura 27.** Mando de control



Para lograr un correcto funcionamiento del sistema y una mejor administración de riesgos, se debe tener en cuenta los siguientes pasos.

- Verifique el estado del sistema para estar seguro de no encontrarse en el estado de transmitir.
- Verifique que la posición de la llave de ignición del vehículo tipo “montacarga”, se encuentra en la posición de encendido.
- Introducir el código del usuario.
- Una vez hecho el anterior paso se espera a que el indicador de color rojo este encendido, indicará que el equipo está listo para darle marcha.
- Con el equipo en marcha, el modo del sistema esta funcionando de forma automática, se deberá repetir el proceso si se llega a volver a encender el vehículo.
- Si en la operación del vehículo rodante tipo “montacarga”, surgiera un

problema con la temperatura adecuada de funcionamiento, el bombillo de color rojo se activara, avisando el problema con elevaciones inadecuadas de la temperatura, esto se hará por 3 veces, tiempo que una vez hecho se tomará registro de la falla, con lo que se deberá apagar el equipo por parte del operario para la correcta revisión del problema.

- En la operación del vehiculo tipo “montacarga”, la velocidad del equipo no podrá superar la velocidad de 10 Km/h, en el caso de superarla, se encenderá el bombillo de color amarillo, advirtiendole de las velocidades inadecuadas, esto máximo se hará por 5 segundos, si en el cual no se corrigido la alarma, se tomará registro de su falla.
- En el caso de haber recibido fuertes golpes que comprometan el estado físico del equipo, se tomará registro del evento.
- Si el equipo va a ser transportado, se deberá presionar la letra **C**, con la cual el sistema se queda vigilante ante cualquier golpe que pueda sufrir en el transporte hasta su destino.

## 16. MANUAL TECNICO DE REPARACION

En el momento que se presente una falla en el dispositivo monitoreo para supervisar operación de un vehículo tipo “montacarga”, se recomienda contar con un personal capacitado y seguir los siguientes pasos, con el fin de encontrar el error, dar un diagnóstico y tomar la medida correctiva necesaria y oportuna.

La herramienta necesaria para realizar el diagnóstico es:

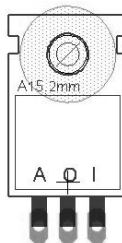
- Multímetro digital.
- Destornillador de pala y estrella.

Lo básico de este sistema, es revisar que los voltajes necesarios para el funcionamiento del dispositivo sean los adecuados, las señales de los sensores sean las correctas y el programa y el microprocesador estén funcionando correctamente.

### 16.1. REVISION DE VOLTAJES

En primer lugar, se deben revisar los voltajes en la tarjeta de control que deben ser de 12 Vdc a la entrada, 5 Vdc a la salida del regulador, igualmente revisar que a los circuitos y al microprocesador lleguen 5Vdc. En los reguladores **A** es la entrada, **0** es tierra y **I** es la salida según la figura.

**Figura 28.** Revisión de reguladores de voltaje



Fuente: DC voltaje regulator. DE-SW050 Switching [en línea]. Houston: Dimension Engineering 2007. [Consultado 7 de Abril de 2007]. Disponible en internet: [www.dimensionengineering.com/index.html](http://www.dimensionengineering.com/index.html)

En caso de que alguno de los voltajes no sea correcto se debe conseguir el repuesto del regulador y cambiarlo adecuadamente.

## 16.2. REVISION EN ENTRADAS

Si los voltajes son correctos, se procederá a revisar las señales provenientes de los sensores teniendo en cuenta que cada uno de los sensores y pulsadores corresponden a las entradas en el microprocesador de acuerdo como se indica en la **Tabla 10**; al activar cada uno de los sensores se debe revisar que en la respectiva entrada del microprocesador se produzca un cambio, es decir, una transición de 0 a 5 Vdc o viceversa, (para ver el pin de la entrada respectiva debe consultar la tabla 10). Si alguno de ellos falla, se debe verificar la ruta de la señal proveniente del respectivo sensor o teclado siguiéndola de acuerdo a la ruta en el plano (**Ver Anexo 5**).

## 16.3. REVISION DEL MICROPROCESADOR

Como primera medida se debe extraer el microprocesador cuidadosamente de la tarjeta de control e insertarlo en la tarjeta programadora.

Posteriormente, proceda a conectar el cable de comunicación entre la tarjeta y el puerto paralelo del computador y conecte el adaptador a un toma corriente y asegúrese con el multímetro que el voltaje entregado se encuentre entre 12.5 y 14 Vdc antes de conectarlo a la tarjeta.

Ahora recurra al CD de información que viene incluido con este manual, diríjase a la carpeta cuyo nombre es '**programador**' y ejecute el programa identificado con el icono EPICWIN (**Figura 28**).

**Figura 29.** Icono de EPICWIN







Fuente: software EPICWIN.

De esta forma se desplegara el siguiente cuadro de programa:

**Figura 30.** Menú EPICWIN



Fuente: software EPICWIN

En el menú desplegable seleccione la referencia del microprocesador que este usando ya sea PIC16F877 o PIC16F877A y a continuación cargue el programa de control del sistema por **File, Open**, y seleccione la ruta a la carpeta de nombre **supervisor** y seleccione el archivo **supervisor.hex** que se encuentra en el CD, lea el programa que se encuentra actualmente el PIC, por medio del icono identificado  con  y verifique dando clic en el siguiente icono  si la verificación es incorrecta cargue de nuevo el programa y programe con el icono  verifique y monte el microprocesador en la tarjeta.

Si no es posible programarlo el microprocesador y se siguieron correctamente paso a paso los puntos anteriores, el microprocesador debe ser reemplazado, para lo cual debe ser programado como se explicó anteriormente.

Ahora proceda a insertar de nuevo el PIC en la tarjeta de control asegurándose que esté ubicado en el sentido correcto y proceda a encender el sistema y arrancarlo como ya usted conoce.

En caso de haber seguido paso a paso el manual de reparación y no haber encontrado solución al problema, se debe realizar un minucioso análisis para la reparación del sistema a cargo de personal especializado.



## 17. CONCLUSIONES

- Se logro el diseño del dispositivo monitoreo para supervisar operación de un vehículo tipo “montacarga”, para la empresa **ULTRA-CARGAS**.
- El dispositivo toma el tiempo de uso del vehiculo tipo “montacarga” y una vez suceda un evento con valores mayores a las referencias puesta para la entrada de los sensores, guardara el dato dependiendo del sensor que activo la alarma.
- En el caso de activar una alarma, por parte de los sensores en el dispositivo, se guardara el código del operario que esta usando el vehículo tipo “montacarga”.
- El dispositivo de monitoreo para supervisar la operación de un vehiculo tipo “montacarga”, funciona de manera autónoma sin necesidad de personal que lo active o desactive.
- Las condiciones de la estructura que soporta el sistema de control, esta proporcionando un aislamiento eléctrico, de humedad, y condiciones de tipo industrial dando garantía del buen funcionamiento del dispositivo.
- El dispositivo cuenta con una base de datos, que contiene los códigos de acceso al vehículo tipo “montacarga”, este es asignado al operario, al usar el equipo, este código será establecido a todas las alarmas que se generen con su uso.
- Al activar el vehículo tipo “montacarga”, comienza ejecutarse un código de tiempo, que puede contar hasta 10 días y 15 horas continuas, esto para evaluar el uso del equipo cuando esta alquilado.
- La construcción de prototipos virtuales es muy importante dentro del proceso de diseño y desarrollo de un proyecto, ya que proporcionan una herramienta fundamental para analizar posibles errores y solucionarlos a tiempo.
- A raíz de los resultados obtenidos y la variedad de modificaciones que se hicieron al diseño inicial es importante destacar que al materializar un diseño teórico y enfrentarlo a la solución de un problema, aparecen una serie de inconvenientes que generalmente solo son posibles de observar en la aplicación real.
- En el desarrollo de un proyecto aparecen un sin número de inconvenientes tanto de recursos como de aspectos propios del diseño, pero a pesar de lo mencionado anteriormente la mayoría de veces existirá una o varias soluciones

apropiadas para dichos inconvenientes, con las que se debe hacer un minucioso análisis para escoger la mejor.

- En el diseño del dispositivo de monitoreo para supervisar la operación de un vehículo tipo “montacarga”, es fundamental tener en cuenta la opinión del personal que a diario se encuentra involucrado en el proceso, ya que dichos conceptos son claves en diseño y desarrollo funcional del dispositivo.
- La alarma para máximas cargas de peso que puede levantar el vehículo tipo “montacargas”, no es un problema para los vehículos pequeños que son los de más número, y al contrario para los vehículos grandes que es necesario saber el peso que se va a elevar para no dañar la maquinaria, por este motivo no se agregó un sensor para este problema en particular.
- Registrar alarmas por infiltraciones no autorizadas, con el fin de evitar causar deterioro o mal funcionamiento, se reconsidero por la constante revisión al equipo cuando esta en la empresa y también por personal de empresas que alquilan a **ULTRA-CARGAS**, los cuales hacen revisión del vehículo para su buen funcionamiento.

## **18. FUTURAS MEJORAS**

- Se podrá aumentar el monitoreo del vehículo tipo “montacarga”, teniendo una revisión constante de la presión del aceite del motor, controlando la caída o subida de presión dada por fallas mecánicas del motor.
- Colocando un sensor de presión de aceite en el sistema hidráulico el cual alimenta el elevador de cargas, podrá mostrar una medición que convierte la presión del aceite en un valor de peso, controlando el peso de carga máxima.
- Incluir una interfaz gráfica para ver el estado del dispositivo.
- Colocar alarmas audibles para una mayor seguridad del vehículo tipo “montacarga” y de las personas que pudieran estar alrededor, generando un buen uso por parte del operario.
- Gracias al cambio de programación de una manera rápida que ofrece el microprocesador, nos brinda la posibilidad del uso de nuevos sensores ampliando el campo de acción del monitoreo del vehículo y teniendo mas bases para sustentar el mal uso del equipo, como también el buen trato por parte del operario con los vehículos tipo “montacargas”.

## BIBLIOGRAFIA

Accelerometer [en línea]: Analog. Norwood: © Analog Devices, Inc., 2007. [Consultado 22 de Abril de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.analog.com/en/index.html>

DC voltaje regulator [en línea]: DE-SW050 Switching. Houston: Dimension Engineering, 2007. [Consultado 7 de Abril de 2007]. Disponible en internet: [www.dimensionengineering.com/index.html](http://www.dimensionengineering.com/index.html)

G Force [en línea]: G Force 1. Alberta: © BMI Technologies Inc., 2007. [Consultado 8 de Abril de 2007]. Disponible en Internet: [http://www.bmitech.com/g\\_force.php](http://www.bmitech.com/g_force.php)

ULRICH T Karl; Eppinger D. Steven. Diseño y desarrollo de productos “enfoque multidisciplinario”. 3 ed. Mc Graww Hill, 2003. 300 p.

OTTO N. Kevin; Wood L Kristin. Product Design: Techniques in reverse Engineering and new product development. 2 ed. Prentice Hall, 2000. 100 p.

LERMA Kirchner Alejandro Eugenio. Guía para el desarrollo de productos. 4 ed. Thomson Internacional, 2004. 100 p.

PALLAS Areny, Ramon; Valdes Z, Fernando E. Microprocesadores. Fundamentos y aplicaciones con PIC. 1 ed. Marcombo, S.A, 2007. 200 p.

----- . Sensores y acondicionadores de señal. 4 ed. Marcombo S.A, 2004. 50 p.

8-bit PIC® Microcontrollers [en línea]. Arizona: © Microchip Technology Inc., 2007. [Consultado 20 de Abril de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.microchip.com/ParamChartSearch/chart.aspx?branchID=1002&mid=10&lang=en&pageld=74>

Speed & Proximity [en línea]: Sensors. Houston: © Cherry Electrical Products, 2007. [Consultado 15 de Abril de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.cherrycorp.com/english/sensors/index.htm>

Temperature sensor [en línea]: Analog. California: © National Semiconductor Corporation, 2007. [Consultado 9 de Abril de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.national.com>

Wireless embedded [en línea]: IceBlue. España: Emxys Embedded instruments, 2007. [Consultado 12 de Abril de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.emxys.com/products.php?product=IceBlue>

# ANEXOS

## Anexo 1. Hoja de especificaciones del sensor LM35DZ



November 2000

### LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

#### General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in  $^{\circ}$  Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of  $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$  at room temperature and  $\pm 3/4^{\circ}\text{C}$  over a full  $-55$  to  $+150^{\circ}\text{C}$  temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only  $60\text{ }\mu\text{A}$  from its supply, it has very low self-heating, less than  $0.1^{\circ}\text{C}$  in still air. The LM35 is rated to operate over a  $-55^{\circ}$  to  $+150^{\circ}\text{C}$  temperature range, while the LM35C is rated for a  $-40^{\circ}$  to  $+110^{\circ}\text{C}$  range ( $-10^{\circ}$  with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

#### Features

- Calibrated directly in  $^{\circ}$  Celsius (Centigrade)
- Linear  $+10.0\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$  scale factor
- $0.5^{\circ}\text{C}$  accuracy guaranteeable (at  $+25^{\circ}\text{C}$ )
- Rated for full  $-55^{\circ}$  to  $+150^{\circ}\text{C}$  range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than  $60\text{ }\mu\text{A}$  current drain
- Low self-heating,  $0.08^{\circ}\text{C}$  in still air
- Nonlinearity only  $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$  typical
- Low impedance output,  $0.1\text{ }\Omega$  for  $1\text{ mA}$  load

#### Typical Applications

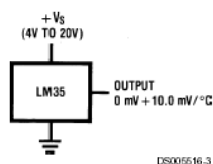
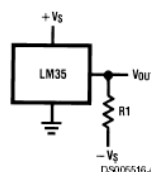


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor  
( $+2^{\circ}\text{C}$  to  $+150^{\circ}\text{C}$ )



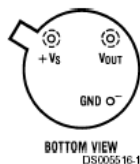
Choose  $R_1 = -V_S/50\text{ }\mu\text{A}$   
 $V_{\text{OUT}} = +1,500\text{ mV}$  at  $+150^{\circ}\text{C}$   
 $= +250\text{ mV}$  at  $+25^{\circ}\text{C}$   
 $= -550\text{ mV}$  at  $-55^{\circ}\text{C}$

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

## Connection Diagrams

TO-46  
Metal Can Package\*

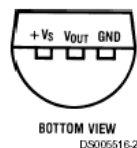


\*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH

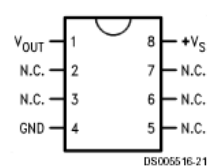
See NS Package Number H03H

TO-92  
Plastic Package



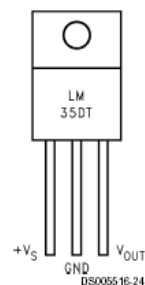
Order Number LM35CZ,  
LM35CAZ or LM35DZ  
See NS Package Number Z03A

SO-8  
Small Outline Molded Package



N.C. = No Connection

TO-220  
Plastic Package\*



\*Tab is connected to the negative pin (GND).

Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP.

Order Number LM35DT  
See NS Package Number TA03F

**Absolute Maximum Ratings** (Note 10)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp.:	
TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-60°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-220 Package,	-65°C to +150°C
Lead Temp.:	
TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)	300°C

TO-92 and TO-220 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
SO Package (Note 12)	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: $T_{MIN}$ to $T_{MAX}$ (Note 2)	
LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

**Electrical Characteristics**

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.2$	$\pm 0.5$		$\pm 0.2$	$\pm 0.5$		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	$\pm 0.3$			$\pm 0.3$		$\pm 1.0$	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MAX}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MIN}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$\pm 0.4$		$\pm 1.5$	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	$\pm 0.18$		$\pm 0.35$	$\pm 0.15$		$\pm 0.3$	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	$+10.0$	$+9.9$ , $+10.1$		$+10.0$		$+9.9$ , $+10.1$	mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	$\pm 0.5$		$\pm 3.0$	$\pm 0.5$		$\pm 3.0$	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.01$	$\pm 0.05$		$\pm 0.01$	$\pm 0.05$		mV/V
	$4V \leq V_S \leq 30V$	$\pm 0.02$		$\pm 0.1$	$\pm 0.02$		$\pm 0.1$	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5V, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67		$\mu\text{A}$
	$V_S = +5V$	105		131	91		114	$\mu\text{A}$
	$V_S = +30V, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		$\mu\text{A}$
	$V_S = +30V$	105.5		133	91.5		116	$\mu\text{A}$
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V \leq V_S \leq 30V, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		$\mu\text{A}$
	$4V \leq V_S \leq 30V$	0.5		2.0	0.5		2.0	$\mu\text{A}$
Temperature Coefficient of Quiescent Current		$+0.39$		$+0.5$	$+0.39$		$+0.5$	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$ , for 1000 hours	$\pm 0.08$			$\pm 0.08$			$^\circ\text{C}$



## Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	$\pm 0.5$			$\pm 0.5$		$\pm 1.5$	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	$\pm 0.8$	$\pm 1.5$		$\pm 0.8$		$\pm 1.5$	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	$\pm 0.8$		$\pm 1.5$	$\pm 0.8$		$\pm 2.0$	$^\circ\text{C}$
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$				$\pm 0.6$	$\pm 1.5$		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				$\pm 0.9$		$\pm 2.0$	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				$\pm 0.9$		$\pm 2.0$	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	$\pm 0.3$		$\pm 0.5$	$\pm 0.2$		$\pm 0.5$	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	$+10.0$	$+9.8$ , $+10.2$		$+10.0$		$+9.8$ , $+10.2$	mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1\text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.4$	$\pm 2.0$		$\pm 0.4$	$\pm 2.0$		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	$\pm 0.5$		$\pm 5.0$	$\pm 0.5$		$\pm 5.0$	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.01$	$\pm 0.1$		$\pm 0.01$	$\pm 0.1$		mV/V
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	$\pm 0.02$		$\pm 0.2$	$\pm 0.02$		$\pm 0.2$	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}$ , $+25^\circ\text{C}$	56	80		56	80		$\mu\text{A}$
	$V_S = +5\text{V}$	105		158	91		138	$\mu\text{A}$
	$V_S = +30\text{V}$ , $+25^\circ\text{C}$	56.2	82		56.2	82		$\mu\text{A}$
	$V_S = +30\text{V}$	105.5		161	91.5		141	$\mu\text{A}$
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$ , $+25^\circ\text{C}$	0.2	2.0		0.2	2.0		$\mu\text{A}$
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	0.5		3.0	0.5		3.0	$\mu\text{A}$
Temperature Coefficient of Quiescent Current		$+0.39$		$+0.7$	$+0.39$		$+0.7$	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of <i>Figure 1</i> , $I_L = 0$	$+1.5$		$+2.0$	$+1.5$		$+2.0$	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$ , for 1000 hours	$\pm 0.08$			$\pm 0.08$			$^\circ\text{C}$

Note 1: Unless otherwise noted, these specifications apply:  $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq +150^\circ\text{C}$  for the LM35 and LM35A;  $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +110^\circ\text{C}$  for the LM35C and LM35CA; and  $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +100^\circ\text{C}$  for the LM35D.  $V_S = +5\text{Vdc}$  and  $I_{\text{LOAD}} = 50\text{ }\mu\text{A}$ , in the circuit of *Figure 2*. These specifications also apply from  $+2^\circ\text{C}$  to  $T_{\text{MAX}}$  in the circuit of *Figure 1*. Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is  $400^\circ\text{C/W}$  junction to ambient, and  $24^\circ\text{C/W}$  junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is  $180^\circ\text{C/W}$  junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is  $220^\circ\text{C/W}$  junction to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package is  $90^\circ\text{C/W}$  junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

Note 3: Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

Note 4: Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

Note 5: Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

Note 6: Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 7: Accuracy is defined as the error between the output voltage and  $10\text{mV}/^\circ\text{C}$  times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in  $^\circ\text{C}$ ).

Note 8: Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

Note 9: Quiescent current is defined in the circuit of *Figure 1*.

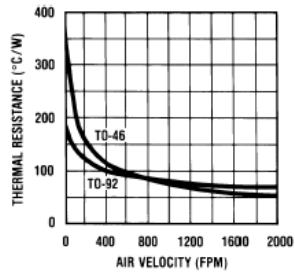
Note 10: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

Note 11: Human body model,  $100\text{ pF}$  discharged through a  $1.5\text{ k}\Omega$  resistor.

Note 12: See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

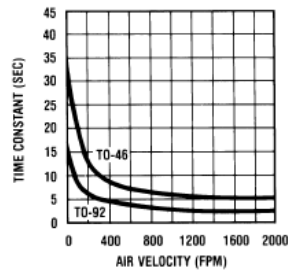
## Typical Performance Characteristics

Thermal Resistance  
Junction to Air



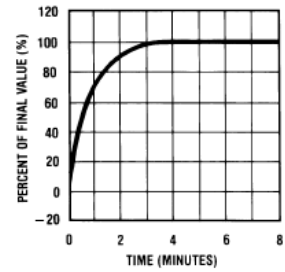
DS005516-25

Thermal Time Constant



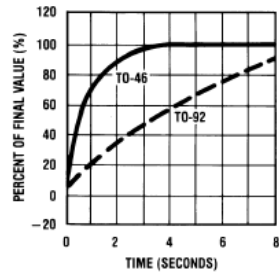
DS005516-26

Thermal Response  
in Still Air



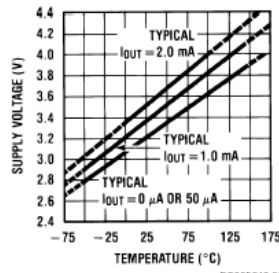
DS005516-27

Thermal Response in  
Stirred Oil Bath



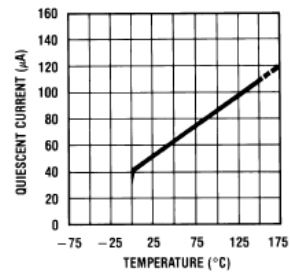
DS005516-28

Minimum Supply  
Voltage vs. Temperature



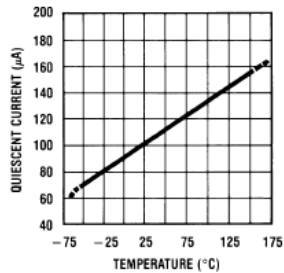
DS005516-29

Quiescent Current  
vs. Temperature  
(In Circuit of Figure 1.)



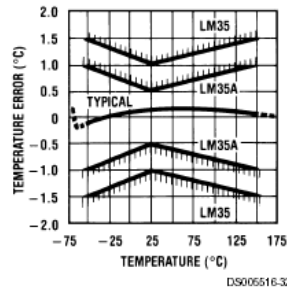
DS005516-30

Quiescent Current  
vs. Temperature  
(In Circuit of Figure 2.)



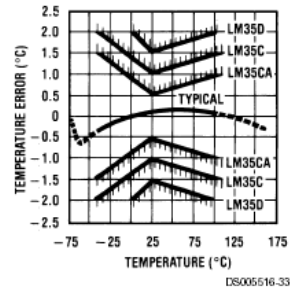
DS005516-31

Accuracy vs. Temperature  
(Guaranteed)



DS005516-32

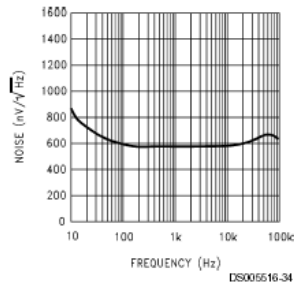
Accuracy vs. Temperature  
(Guaranteed)



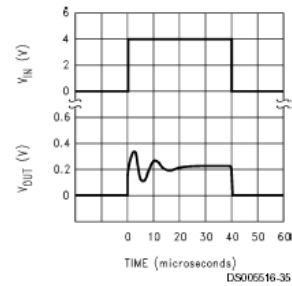
DS005516-33

## Typical Performance Characteristics (Continued)

Noise Voltage



Start-Up Response



## Applications

The LM35 can be applied easily in the same way as other integrated-circuit temperature sensors. It can be glued or cemented to a surface and its temperature will be within about 0.01°C of the surface temperature.

This presumes that the ambient air temperature is almost the same as the surface temperature; if the air temperature were much higher or lower than the surface temperature, the actual temperature of the LM35 die would be at an intermediate temperature between the surface temperature and the air temperature. This is especially true for the TO-92 plastic package, where the copper leads are the principal thermal path to carry heat into the device, so its temperature might be closer to the air temperature than to the surface temperature.

To minimize this problem, be sure that the wiring to the LM35, as it leaves the device, is held at the same temperature as the surface of interest. The easiest way to do this is to cover up these wires with a bead of epoxy which will insure that the leads and wires are all at the same temperature as the surface, and that the LM35 die's temperature will not be affected by the air temperature.

The TO-46 metal package can also be soldered to a metal surface or pipe without damage. Of course, in that case the V- terminal of the circuit will be grounded to that metal. Alternatively, the LM35 can be mounted inside a sealed-end metal tube, and can then be dipped into a bath or screwed into a threaded hole in a tank. As with any IC, the LM35 and accompanying wiring and circuits must be kept insulated and dry, to avoid leakage and corrosion. This is especially true if the circuit may operate at cold temperatures where condensation can occur. Printed-circuit coatings and varnishes such as Humiseal and epoxy paints or dips are often used to insure that moisture cannot corrode the LM35 or its connections.

These devices are sometimes soldered to a small light-weight heat fin, to decrease the thermal time constant and speed up the response in slowly-moving air. On the other hand, a small thermal mass may be added to the sensor, to give the steadiest reading despite small deviations in the air temperature.

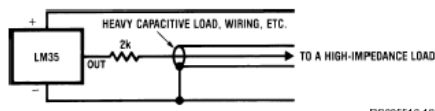
## Temperature Rise of LM35 Due To Self-heating (Thermal Resistance, $\theta_{JA}$ )

	TO-46, no heat sink	TO-46*, small heat fin	TO-92, no heat sink	TO-92**, small heat fin	SO-8 no heat sink	SO-8**, small heat fin	TO-220 no heat sink
Still air	400°C/W	100°C/W	180°C/W	140°C/W	220°C/W	110°C/W	90°C/W
Moving air	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W	105°C/W	90°C/W	26°C/W
Still oil	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W			
Stirred oil	50°C/W	30°C/W	45°C/W	40°C/W			
(Clamped to metal, Infinite heat sink)		(24°C/W)				(55°C/W)	

\*Wakefield type 201, or 1" disc of 0.020" sheet brass, soldered to case, or similar.

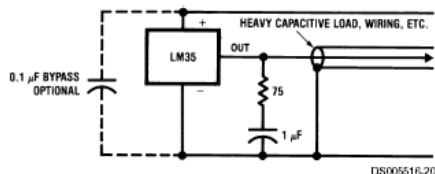
\*\*TO-92 and SO-8 packages glued and leads soldered to 1" square of 1/16" printed circuit board with 2 oz. foil or similar.

## Typical Applications



DS0005516-19

FIGURE 3. LM35 with Decoupling from Capacitive Load



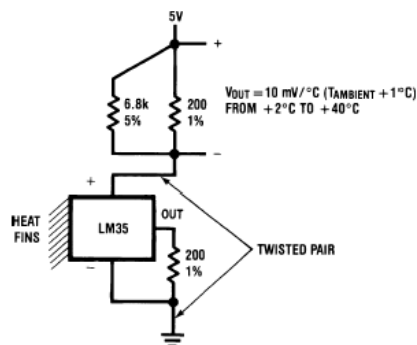
DS0005516-20

FIGURE 4. LM35 with R-C Damper

### CAPACITIVE LOADS

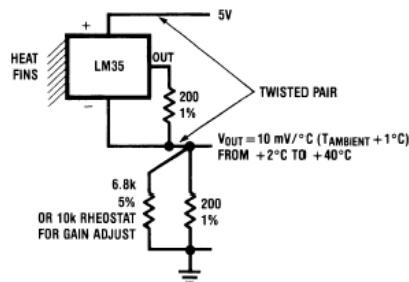
Like most micropower circuits, the LM35 has a limited ability to drive heavy capacitive loads. The LM35 by itself is able to drive 50 pF without special precautions. If heavier loads are anticipated, it is easy to isolate or decouple the load with a resistor; see Figure 3. Or you can improve the tolerance of capacitance with a series R-C damper from output to ground; see Figure 4.

When the LM35 is applied with a 200Ω load resistor as shown in Figure 5, Figure 6 or Figure 8 it is relatively immune to wiring capacitance because the capacitance forms a bypass from ground to input, not on the output. However, as with any linear circuit connected to wires in a hostile environment, its performance can be affected adversely by intense electromagnetic sources such as relays, radio transmitters, motors with arcing brushes, SCR transients, etc., as its wiring can act as a receiving antenna and its internal junctions can act as rectifiers. For best results in such cases, a bypass capacitor from  $V_{IN}$  to ground and a series R-C damper such as 75Ω in series with 0.2 or 1 μF from output to ground are often useful. These are shown in Figure 13, Figure 14, and Figure 16.



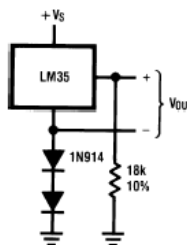
DS0005516-5

FIGURE 5. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Grounded Sensor)



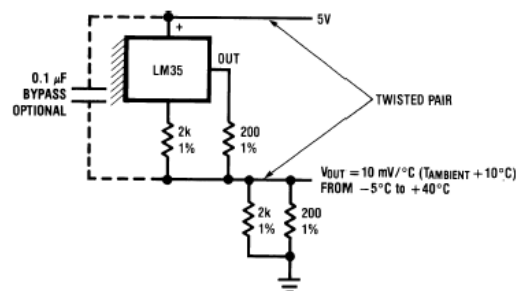
DS0005516-6

FIGURE 6. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)



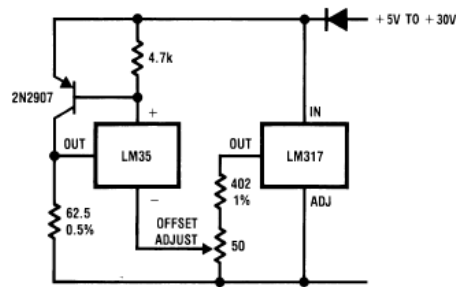
DS0005516-7

FIGURE 7. Temperature Sensor, Single Supply, -55° to +150°C



DS0005516-8

FIGURE 8. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)

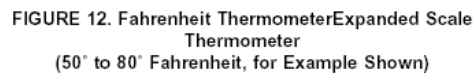


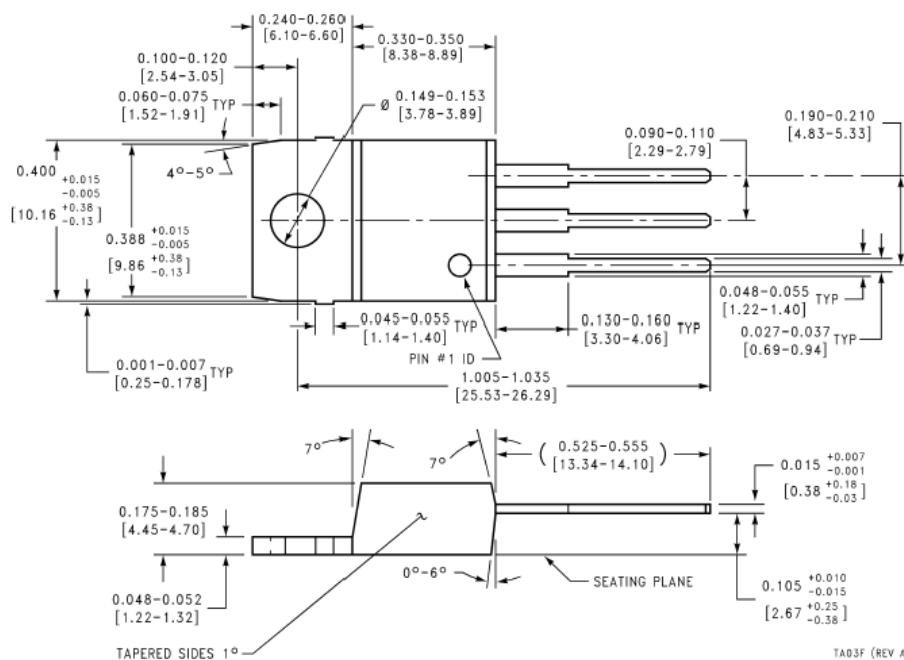
DS0005516-9

FIGURE 9. 4-To-20 mA Current Source (0°C to +100°C)

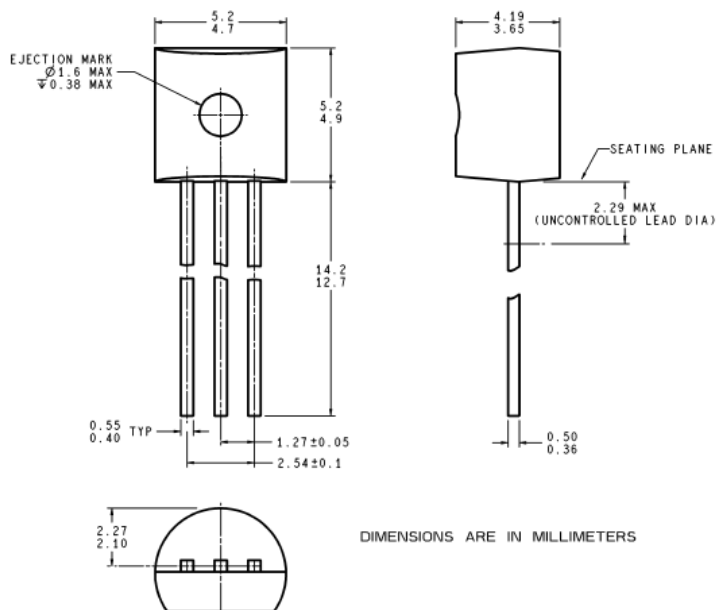


**FIGURE 11. Centigrade Thermometer (Analog Meter)**





Power Package TO-220 (T)  
Order Number LM35DT  
NS Package Number TA03F

**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)

Z03A (Rev G)

TO-92 Plastic Package (Z)  
Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ  
NS Package Number Z03A

**LIFE SUPPORT POLICY**

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor  
Corporation  
Americas  
Tel: 1-800-272-9959  
Fax: 1-800-737-7018  
Email: support@nsc.com  
www.national.com

National Semiconductor  
Europe  
Fax: +49 (0) 180-530 85 86  
Email: europe.support@nsc.com  
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208  
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171  
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor  
Asia Pacific Customer  
Response Group  
Tel: 65-2544466  
Fax: 65-2504466  
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor  
Japan Ltd.  
Tel: 81-3-5639-7560  
Fax: 81-3-5639-7507

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

## Anexo 2. Hoja de especificaciones del acelerómetro ADXL250



$\pm 5 g$  to  $\pm 50 g$ , Low Noise, Low Power,  
Single/Dual Axis *i*MEMS<sup>®</sup> Accelerometers

### ADXL150/ADXL250

#### FEATURES

Complete Acceleration Measurement System  
on a Single Monolithic IC  
80 dB Dynamic Range  
Pin Programmable  $\pm 50 g$  or  $\pm 25 g$  Full Scale  
Low Noise:  $1 \text{ mg}/\sqrt{\text{Hz}}$  Typical  
Low Power:  $< 2 \text{ mA}$  per Axis  
Supply Voltages as Low as 4 V  
2-Pole Filter On-Chip  
Ratiometric Operation  
Complete Mechanical & Electrical Self-Test  
Dual & Single Axis Versions Available  
Surface Mount Package

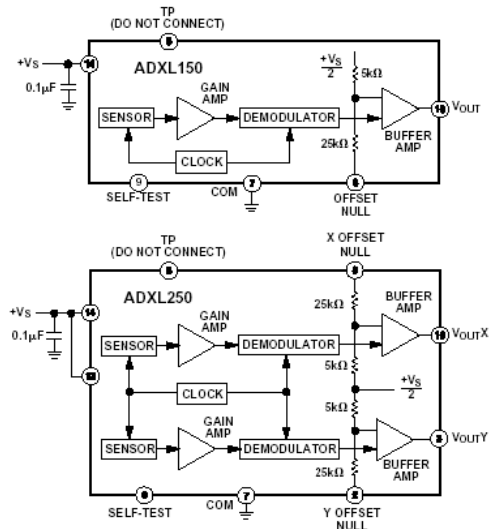
#### GENERAL DESCRIPTION

The ADXL150 and ADXL250 are third generation  $\pm 50 g$  surface micromachined accelerometers. These improved replacements for the ADXL50 offer lower noise, wider dynamic range, reduced power consumption and improved zero  $g$  bias drift.

The ADXL150 is a single axis product; the ADXL250 is a fully integrated dual axis accelerometer with signal conditioning on a single monolithic IC, the first of its kind available on the commercial market. The two sensitive axes of the ADXL250 are orthogonal ( $90^\circ$ ) to each other. Both devices have their sensitive axes in the same plane as the silicon chip.

The ADXL150/ADXL250 offer lower noise and improved signal-to-noise ratio over the ADXL50. Typical S/N is 80 dB, allowing resolution of signals as low as 10 mg, yet still providing a  $\pm 50 g$  full-scale range. Device scale factor can be increased from 38 mV/g to 76 mV/g by connecting a jumper between  $V_{OUT}$  and the offset null pin. Zero  $g$  drift has been reduced to 0.4  $g$  over the industrial temperature range, a  $10\times$  improvement over the ADXL50. Power consumption is a modest 1.8 mA per axis. The scale factor and zero  $g$  output level are both

#### FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAMS



ratiometric to the power supply, eliminating the need for a voltage reference when driving ratiometric A/D converters such as those found in most microprocessors. A power supply bypass capacitor is the only external component needed for normal operation.

The ADXL150/ADXL250 are available in a hermetic 14-lead surface mount cerpac package specified over the  $0^\circ\text{C}$  to  $+70^\circ\text{C}$  commercial and  $-40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$  industrial temperature ranges. Contact factory for availability of devices specified over automotive and military temperature ranges.

*i*MEMS is a registered trademark of Analog Devices, Inc.

#### REV. 0

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.  
Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: <http://www.analog.com>  
Fax: 781/326-8703 © Analog Devices, Inc., 1998



# ADXL150/ADXL250—SPECIFICATIONS (T<sub>A</sub> = +25°C for J Grade, T<sub>A</sub> = –40°C to +85°C for A Grade, V<sub>S</sub> = +5.00 V, Acceleration = Zero g, unless otherwise noted)

Parameter	Conditions	ADXL150JQC/AQC			ADXL250JQC/AQC			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
SENSOR								
Guaranteed Full-Scale Range		±40	±50		±40	±50		g
Nonlinearity			0.2			0.2		% of FS
Package Alignment Error <sup>1</sup>			±1			±1		Degrees
Sensor-to-Sensor Alignment Error						±0.1		Degrees
Transverse Sensitivity <sup>2</sup>			±2			±2		%
SENSITIVITY								
Sensitivity (Ratiometric) <sup>3</sup>	Y Channel X Channel	33.0 33.0	38.0 38.0	43.0 43.0	33.0 33.0	38.0 38.0	43.0 43.0	mV/g mV/g
Sensitivity Drift Due to Temperature	Delta from 25°C to T <sub>MIN</sub> or T <sub>MAX</sub>		±0.5			±0.5		%
ZERO g BIAS LEVEL								
Output Bias Voltage <sup>4</sup>		V <sub>S</sub> /2 – 0.35	V <sub>S</sub> /2	V <sub>S</sub> /2 + 0.35	V <sub>S</sub> /2 – 0.35	V <sub>S</sub> /2	V <sub>S</sub> /2 + 0.35	V
Zero g Drift Due to Temperature	Delta from 25°C to T <sub>MIN</sub> or T <sub>MAX</sub>		0.2			0.3		g
ZERO-g OFFSET ADJUSTMENT								
Voltage Gain	Delta V <sub>OUT</sub> /Delta V <sub>OS PIN</sub>	0.45	0.50	0.55	0.45	0.50	0.55	V/V
Input Impedance		20	30		20	30		kΩ
NOISE PERFORMANCE								
Noise Density <sup>5</sup>			1	2.5		1	2.5	mg/√Hz
Clock Noise			5			5		mV p-p
FREQUENCY RESPONSE								
–3 dB Bandwidth		900	1000		900	1000		Hz
Bandwidth Temperature Drift	T <sub>MIN</sub> to T <sub>MAX</sub>		50			50		Hz
Sensor Resonant Frequency	Q = 5		24			24		kHz
SELF-TEST								
Output Change <sup>6</sup>	ST Pin from Logic “0” to “1”	0.25	0.40	0.60	0.25	0.40	0.60	V
Logic “1” Voltage		V <sub>S</sub> – 1			V <sub>S</sub> – 1			V
Logic “0” Voltage			1.0			1.0		V
Input Resistance	To Common	30	50		30	50		kΩ
OUTPUT AMPLIFIER								
Output Voltage Swing	I <sub>OUT</sub> = ±100 μA	0.25		V <sub>S</sub> – 0.25	0.25		V <sub>S</sub> – 0.25	V
Capacitive Load Drive		1000			1000			pF
POWER SUPPLY (V <sub>S</sub> ) <sup>7</sup>								
Functional Voltage Range		4.0		6.0	4.0		6.0	V
Quiescent Supply Current	ADXL150 ADXL250 (Total 2 Channels)		1.8	3.0		3.5	5.0	mA mA
TEMPERATURE RANGE								
Operating Range J		0		+70	0		+70	°C
Specified Performance A		–40		+85	–40		+85	°C

## NOTES

<sup>1</sup>Alignment error is specified as the angle between the true axis of sensitivity and the edge of the package.

<sup>2</sup>Transverse sensitivity is measured with an applied acceleration that is 90 degrees from the indicated axis of sensitivity.

<sup>3</sup>Ratiometric: V<sub>OUT</sub> = V<sub>S</sub>/2 + (Sensitivity × V<sub>S</sub>/5 V × a) where a = applied acceleration in g's, and V<sub>S</sub> = supply voltage. See Figure 21. Output scale factor can be doubled by connecting V<sub>OUT</sub> to the offset null pin.

<sup>4</sup>Ratiometric, proportional to V<sub>S</sub>/2. See Figure 21.

<sup>5</sup>See Figure 11 and Device Bandwidth vs. Resolution section.

<sup>6</sup>Self-test output varies with supply voltage.

<sup>7</sup>When using ADXL250, both Pins 13 and 14 must be connected to the supply for the device to function.

Specifications subject to change without notice.

## ADXL150/ADXL250

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS\*

Acceleration (Any Axis, Unpowered for 0.5 ms)	2000 g
Acceleration (Any Axis, Powered for 0.5 ms)	500 g
+V <sub>S</sub>	-0.3 V to +7.0 V
Output Short Circuit Duration (V <sub>OUT</sub> , V <sub>REF</sub> Terminals to Common)	Indefinite
Operating Temperature	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C

\*Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; the functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Drops onto hard surfaces can cause shocks of greater than 2000 g and exceed the absolute maximum rating of the device. Care should be exercised in handling to avoid damage.

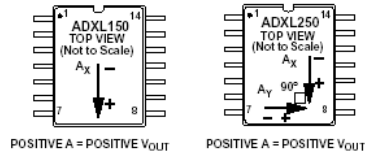


Figure 1. ADXL150 and ADXL250 Sensitive Axis Orientation

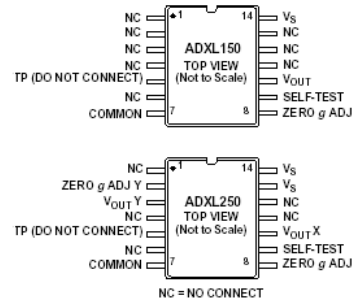
### Package Characteristics

Package	$\theta_{JA}$	$\theta_{JC}$	Device Weight
14-Lead Cerpac	110°C/W	30°C/W	5 Grams

### ORDERING GUIDE

Model	Temperature Range
ADXL150JQC	0°C to +70°C
ADXL150AQC	-40°C to +85°C
ADXL250JQC	0°C to +70°C
ADXL250AQC	-40°C to +85°C

### PIN CONNECTIONS



NOTE: WHEN USING ADXL250, BOTH PINS 13 AND 14 NEED TO BE CONNECTED TO SUPPLY FOR DEVICE TO FUNCTION

### CAUTION

ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Electrostatic charges as high as 4000 V readily accumulate on the human body and test equipment and can discharge without detection. Although the ADXL150/ADXL250 feature proprietary ESD protection circuitry, permanent damage may occur on devices subjected to high energy electrostatic discharges. Therefore, proper ESD precautions are recommended to avoid performance degradation or loss of functionality.



## ADXL150/ADXL250

### GLOSSARY OF TERMS

**Acceleration:** Change in velocity per unit time.

**Acceleration Vector:** Vector describing the net acceleration acting upon the ADXL150/ADXL250.

***g*:** A unit of acceleration equal to the average force of gravity occurring at the earth's surface. A *g* is approximately equal to 32.17 feet/s<sup>2</sup> or 9.807 meters/s<sup>2</sup>.

**Nonlinearity:** The maximum deviation of the ADXL150/ADXL250 output voltage from a best fit straight line fitted to a plot of acceleration vs. output voltage, calculated as a % of the full-scale output voltage (at 50 *g*).

**Resonant Frequency:** The natural frequency of vibration of the ADXL150/ADXL250 sensor's central plate (or "beam"). At its resonant frequency of 24 kHz, the ADXL150/ADXL250's moving center plate has a slight peak in its frequency response.

**Sensitivity:** The output voltage change per *g* unit of acceleration applied, specified at the  $V_{OUT}$  pin in mV/*g*.

**Total Alignment Error:** Net misalignment of the ADXL150/ADXL250's on-chip sensor and the measurement axis of the application. This error includes errors due to sensor die alignment to the package, and any misalignment due to installation of the sensor package in a circuit board or module.

**Transverse Acceleration:** Any acceleration applied 90° to the axis of sensitivity.

**Transverse Sensitivity Error:** The percent of a transverse acceleration that appears at  $V_{OUT}$ .

**Transverse Axis:** The axis perpendicular (90°) to the axis of sensitivity.

**Zero *g* Bias Level:** The output voltage of the ADXL150/ADXL250 when there is no acceleration (or gravity) acting upon the axis of sensitivity. The output offset is the difference between the actual zero *g* bias level and ( $V_S/2$ ).

### Polarity of the Acceleration Output

The polarity of the ADXL150/ADXL250 output is shown in Figure 1. When its sensitive axis is oriented to the earth's gravity (and held in place), it will experience an acceleration of +1 *g*. This corresponds to a change of approximately +38 mV at the output pin. Note that the polarity will be reversed if the package is rotated 180°. The figure shows the ADXL250 oriented so that its "X" axis measures +1 *g*. If the package is rotated 90° clockwise (Pin 14 up, Pin 1 down), the ADXL250's "Y" axis will now measure +1 *g*.

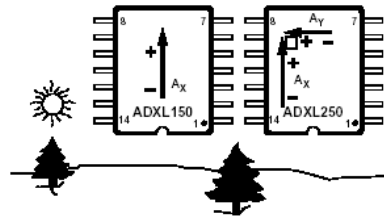


Figure 2. Output Polarity

### Acceleration Vectors

The ADXL150/ADXL250 is a sensor designed to measure accelerations that result from an applied force. It responds to the component of acceleration on its sensitive X axis (ADXL150) or on both the "X" and "Y" axis (ADXL250).

**Typical Characteristics** (@+5 V dc, +25°C with a 38 mV/g Scale Factor unless otherwise noted)

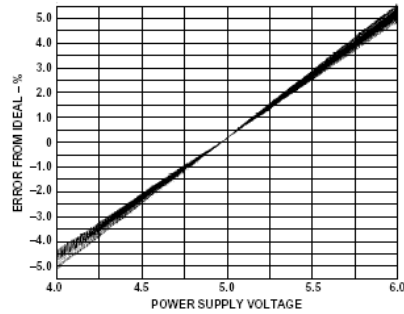


Figure 3. Typical Sensitivity Error from Ideal Ratiometric Response for a Number of Units

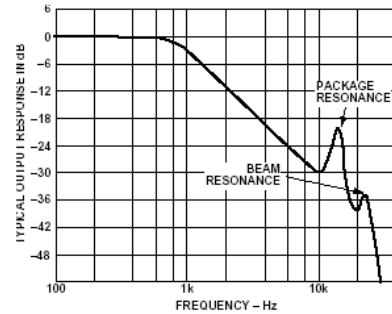


Figure 6. Typical Output Response vs. Frequency of ADXL150/ADXL250 on a PC Board that Has Been Conformally Coated

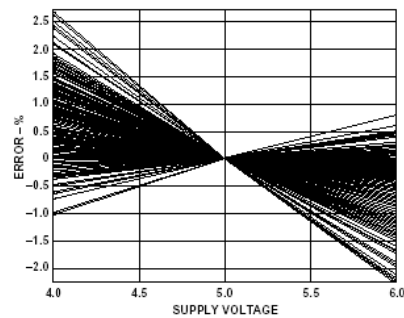


Figure 4. Offset Error of Zero g Level from Ideal  $V_S/2$  Response as a Percent of Full-Scale for a Number of Units

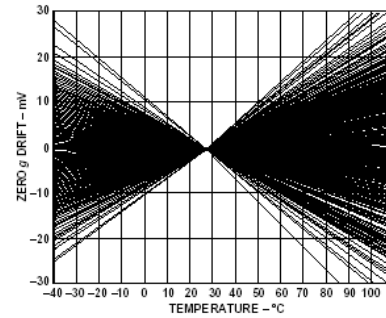


Figure 7. Typical Zero g Drift for a Number of Units

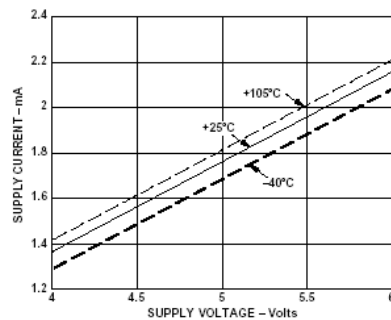


Figure 5. Typical Supply Current vs. Supply Voltage

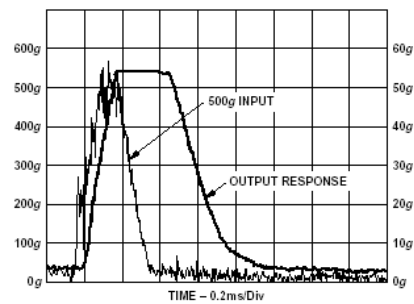


Figure 8. Typical 500 g Step Recovery at the Output

# ADXL150/ADXL250

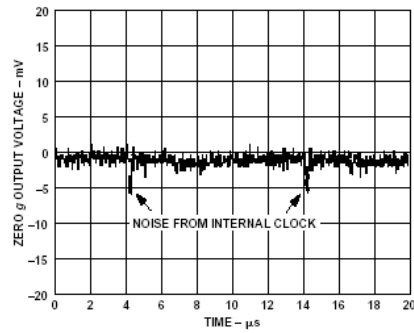


Figure 9. Typical Output Noise Voltage with Spikes Generated by Internal Clock

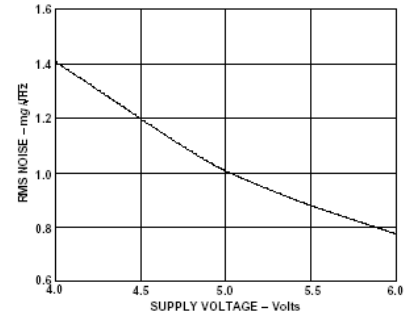


Figure 12. Noise vs. Supply Voltage

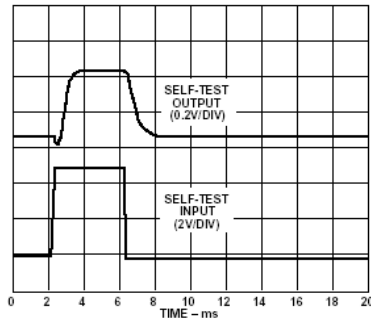


Figure 10. Typical Self-Test Response

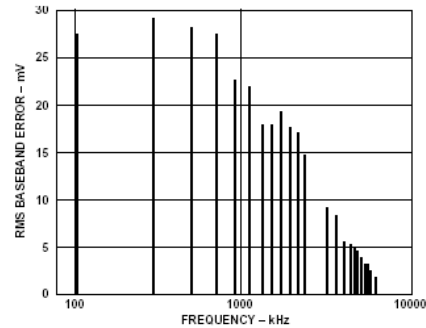


Figure 13. Baseband Error Graph

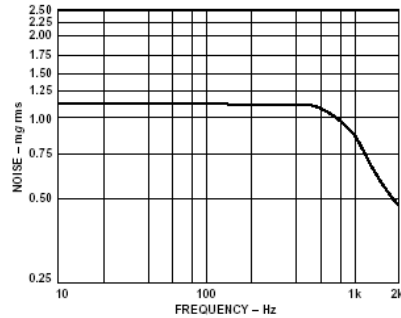


Figure 11. Noise Spectral Density

Figure 13 shows the mV rms error in the output signal if there is a noise on the power supply pin of 1 mV rms at the internal clock frequency or its odd harmonics. This is a baseband noise and can be at any frequency in the 1 kHz passband or at dc.

# THEORY OF OPERATION

The ADXL150 and ADXL250 are fabricated using a proprietary surface micromachining process that has been in high volume production since 1993. The fabrication technique uses standard integrated circuit manufacturing methods enabling all the signal processing circuitry to be combined on the same chip with the sensor.

The surface micromachined sensor element is made by depositing polysilicon on a sacrificial oxide layer that is then etched away leaving the suspended sensor element. Figure 14 is a simplified view of the sensor structure. The actual sensor has 42 unit cells for sensing acceleration. The differential capacitor sensor is composed of fixed plates and moving plates attached to the beam that moves in response to acceleration. Movement of the beam changes the differential capacitance, which is measured by the on chip circuitry.

The sensor has 12-unit capacitance cells for electrostatically forcing the beam during a self-test. Self-test is activated by the user with a logic high on the self-test input pin. During a logic high, an electrostatic force acts on the beam equivalent to approximately 20% of full-scale acceleration input, and thus a proportional voltage change appears on the output pin. When activated, the self-test feature exercises both the entire mechanical structure and the electrical circuitry.

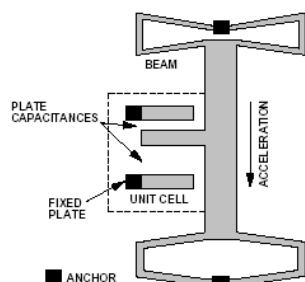


Figure 14. Simplified View of Sensor Under Acceleration

All the circuitry needed to drive the sensor and convert the capacitance change to voltage is incorporated on the chip requiring no external components except for standard power supply decoupling. Both sensitivity and the zero-g value are ratiometric to the supply voltage, so that ratiometric devices following the accelerometer (such as an ADC, etc.) will track the accelerometer if the supply voltage changes. The output voltage ( $V_{OUT}$ ) is a function of both the acceleration input ( $a$ ) and the power supply voltage ( $V_S$ ) as follows:

$$V_{OUT} = V_S/2 - (Sensitivity \times \frac{V_S}{5V} \times a)$$

Both the ADXL150 and ADXL250 have a 2-pole Bessel switched-capacitor filter. Bessel filters, sometimes called linear phase filters, have a step response with minimal overshoot and a maximally flat group delay. The -3 dB frequency of the poles is preset at the factory to 1 kHz. These filters are also completely self-contained and buffered, requiring no external components.

# MEASURING ACCELERATIONS LESS THAN 50 g

The ADXL150/ADXL250 require only a power supply bypass capacitor to measure  $\pm 50 g$  accelerations. For measuring  $\pm 50 g$  accelerations, the accelerometer may be directly connected to an ADC (see Figure 25). The device may also be easily modified to measure lower  $g$  signals by increasing its output scale factor.

The scale factor of an accelerometer specifies the voltage change of the output per  $g$  of applied acceleration. This should not be confused with its resolution. The resolution of the device is the lowest  $g$  level the accelerometer is capable of measuring. Resolution is principally determined by the device noise and the measurement bandwidth.

The zero  $g$  bias level is simply the dc output level of the accelerometer when it is not in motion or being acted upon by the earth's gravity.

## Pin Programmable Scale Factor Option

In its normal state, the ADXL150/ADXL250's buffer amplifier provides an output scale factor of 38 mV/g, which is set by an internal voltage divider. This gives a full-scale range of  $\pm 50 g$  and a nominal bandwidth of 1 kHz.

A factor-of-two increase in sensitivity can be obtained by connecting the  $V_{OUT}$  pin to the offset null pin, assuming that it is not needed for offset adjustment. This connection has the effect of reducing the internal feedback by a factor of two, doubling the buffer's gain. This increases the output scale factor to 76 mV/g and provides a  $\pm 25 g$  full-scale range.

Simultaneously, connecting these two pins also increases the amount of internal post filtering, reducing the noise floor and changing the nominal 3 dB bandwidth of the ADXL150/ADXL250 to 500 Hz. Note that the post filter's "Q" will also be reduced by a factor of  $\sqrt{2}$  from 0.58 (Bessel response) to a much gentler "Q" value of 0.41. The primary effect of this change in "Q" is only at frequencies within two octaves of the corner frequency; above this the two filter slopes are essentially the same. In applications where a flat response up to 500 Hz is needed, it is better to operate the device at 38 mV/g and use an external post filter. Note also that connecting  $V_{OUT}$  to the offset pin adds a 30 k $\Omega$  load from  $V_{OUT}$  to  $V_S/2$ . When swinging  $\pm 2 V$  at  $V_{OUT}$ , this added load will consume  $\pm 60 \mu A$  of the ADXL150/ADXL250's 100  $\mu A$  (typical) output current drive.

## ADXL150/ADXL250

### Increasing the *i*MEMS Accelerometer's Output Scale Factor

Figure 15 shows the basic connections for using an external buffer amplifier to increase the output scale factor.

The output multiplied by the gain of the buffer, which is simply the value of resistor R3 divided by R1. Choose a convenient scale factor, keeping in mind that the buffer gain not only amplifies the signal, but any noise or drift as well. Too much gain can also cause the buffer to saturate and clip the output waveform.

Note that the "+" input of the external op amp uses the offset null pin of the ADXL150/ADXL250 as a reference, biasing the op amp at midsupply, saving two resistors and reducing power consumption. The offset null pin connects to the  $V_S/2$  reference point inside the accelerometer via 30 k $\Omega$ , so it is important not to load this pin with more than a few microamps.

It is important to use a single-supply or "rail-to-rail" op amp for the external buffer as it needs to be able to swing close to the supply and ground.

The circuit of Figure 15 is entirely adequate for many applications, but its accuracy is dependent on the pretrimmed accuracy of the accelerometer and this will vary by product type and grade.

For the highest possible accuracy, an external trim is recommended. As shown by Figure 20, this consists of a potentiometer, R1a, in series with a fixed resistor, R1b. Another option is to select resistor values after measuring the device's scale factor (see Figure 17).

### AC Coupling

If a dc (gravity) response is not required—for example in vibration measurement applications—ac coupling can be used between the accelerometer's output and the external op amp's input as shown in Figure 16. The use of ac coupling virtually eliminates any zero *g* drift and allows the maximum external amp gain without clipping.

Resistor R2 and capacitor C3 together form a high pass filter whose corner frequency is  $1/(2\pi R2 C3)$ . This filter will reduce the signal from the accelerometer by 3 dB at the corner frequency, and it will continue to reduce it at a rate of 6 dB/octave (20 dB per decade) for signals below the corner frequency. Capacitor C3 should be a nonpolarized, low leakage type.

If ac coupling is used, the self-test feature must be monitored at the accelerometer's output rather than at the external amplifier output (since the self-test output is a dc voltage).

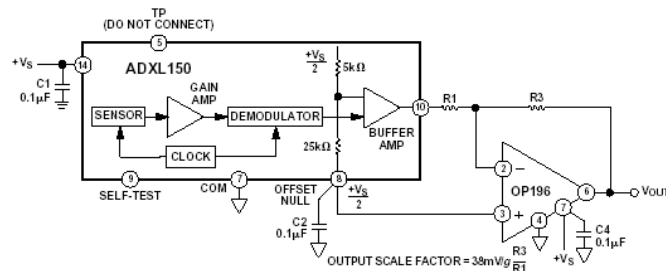


Figure 15. Using an External Op Amp to Increase Output Scale Factor

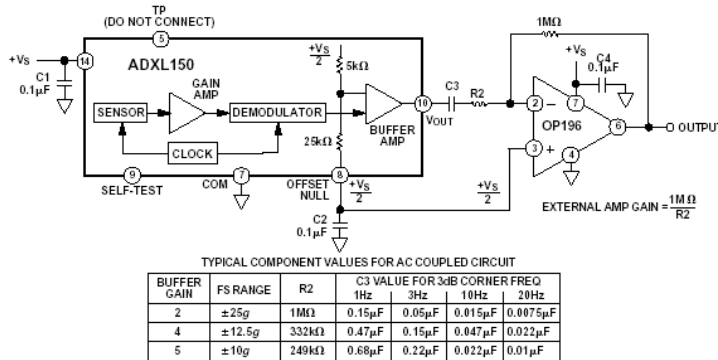


Figure 16. AC Coupled Connection Using an External Op Amp

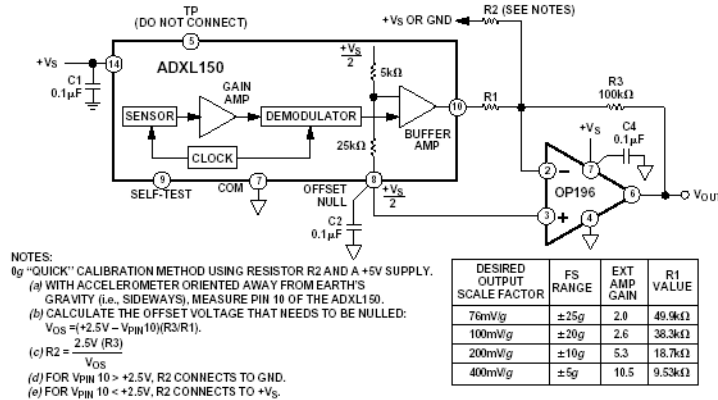


Figure 17. "Quick Zero g Calibration" Connection

## Adjusting the Zero g Bias Level

When a true dc (gravity) response is needed, the output from the accelerometer must be *dc coupled* to the external amplifier's input. For high gain applications, a zero *g* offset trim will also be needed. The external offset trim permits the user to set the zero *g* offset voltage to exactly +2.5 volts (allowing the maximum output swing from the external amplifier without clipping with a +5 supply).

With a dc coupled connection, any difference between the zero *g* output and +2.5 V will be amplified along with the signal. To obtain the exact zero *g* output desired or to allow the maximum output voltage swing from the external amplifier, the zero *g* offset will need to be externally trimmed using the circuit of Figure 20.

The external amplifier's maximum output swing should be limited to ±2 volts, which provides a safety margin of ±0.25 volts before clipping. With a +2.5 volt zero *g* level, the maximum gain will equal:

$$\frac{2 \text{ Volts}}{38 \text{ mV/g Times the Max Applied Acceleration in g}}$$

The device scale factor and zero *g* offset levels can be calibrated using the earth's gravity, as explained in the section "calibrating the ADXL150/ADXL250."

## Using the Zero *g* "Quick-Cal" Method

In Figure 18 (accelerometer alone, no external op amp), a trim potentiometer connects directly to the accelerometer's zero *g* null pin. The "quick offset calibration" scheme shown in Figure 17 is preferred over using a potentiometer, which could change its setting over time due to vibration. The "quick offset calibration" method requires measuring only the output voltage of the ADXL150/ADXL250 while it is oriented normal to the earth's gravity. Then, by using the simple equations shown in the figures, the correct resistance value for R2 can be calculated. In Figure 17, an external op amp is used to amplify the signal. A resistor, R2, is connected to the op amp's summing junction. The other side of R2 connects to either ground or +Vs depending on which direction the offset needs to be shifted.

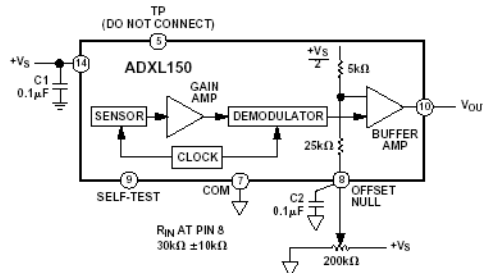


Figure 18. Offset Nulling the ADXL150/ADXL250 Using a Trim Potentiometer



# ADXL150/ADXL250

## DEVICE BANDWIDTH VS. MEASUREMENT RESOLUTION

Although an accelerometer is usually specified according to its full-scale *g* level, the limiting resolution of the device, i.e., its minimum discernible input level, is extremely important when measuring low *g* accelerations.

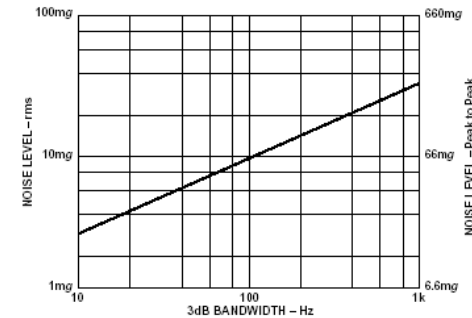


Figure 19. ADXL150/ADXL250 Noise Level vs. 3 dB Bandwidth (Using a "Brickwall" Filter)

The limiting resolution is predominantly set by the measurement noise "floor," which includes the ambient background noise and the noise of the ADXL150/ADXL250 itself. The level of the noise floor varies directly with the bandwidth of the measurement. As the measurement bandwidth is reduced, the noise floor drops, improving the signal-to-noise ratio of the measurement and increasing its resolution.

The bandwidth of the accelerometer can be easily reduced by adding low-pass or bandpass filtering. Figure 19 shows the typical noise vs. bandwidth characteristic of the ADXL150/ADXL250.

The output noise of the ADXL150/ADXL250 scales with the square root of the measurement bandwidth. With a single pole roll-off, the equivalent rms noise bandwidth is  $\pi$  divided by 2 or

approximately 1.6 times the 3 dB bandwidth. For example, the typical rms noise of the ADXL150 using a 100 Hz one pole post filter is:

$$Noise(rms) = 1mg/\sqrt{Hz} \times \sqrt{100(1.6)} = 12.25mg$$

Because the ADXL150/ADXL250's noise is, for all practical purposes, Gaussian in amplitude distribution, the highest noise amplitudes have the smallest (yet nonzero) probability. Peak-to-peak noise is therefore difficult to measure and can only be estimated due to its statistical nature. Table I is useful for estimating the probabilities of exceeding various peak values, given the rms value.

Table I.

Nominal Peak-to-Peak Value	% of Time that Noise Will Exceed Nominal Peak-to-Peak Value
2.0 $\times$ rms	32%
4.0 $\times$ rms	4.6%
6.0 $\times$ rms	0.27%
6.6 $\times$ rms	0.1%
8.0 $\times$ rms	0.006%

RMS and peak-to-peak noise (for 0.1% uncertainty) for various bandwidths are estimated in Figure 19. As shown by the figure, device noise drops dramatically as the operating bandwidth is reduced. For example, when operated in a 1 kHz bandwidth, the ADXL150/ADXL250 typically have an rms noise level of 32 mg. When the device bandwidth is rolled off to 100 Hz, the noise level is reduced to approximately 10 mg.

Alternatively, the signal-to-noise ratio may be improved considerably by using a microprocessor to perform multiple measurements and then to compute the average signal level.

### Low-Pass Filtering

The bandwidth of the accelerometer can easily be reduced by using post filtering. Figure 20 shows how the buffer amplifier can be connected to provide 1-pole post filtering, zero *g* offset trimming, and output scaling. The table provides practical component values

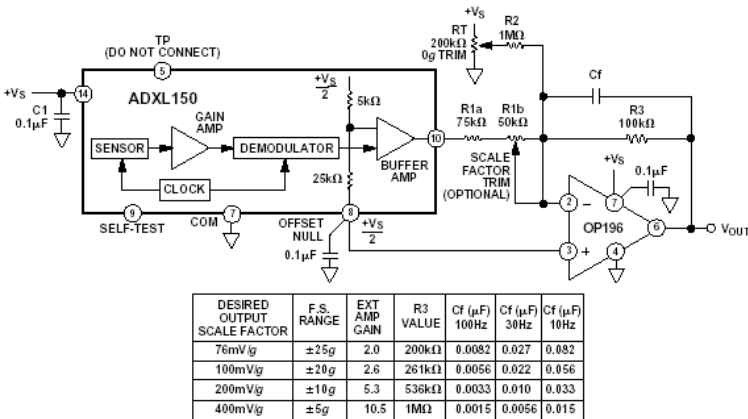


Figure 20. One-Pole Post Filter Circuit with SF and Zero *g* Offset Trims

## ADXL150/ADXL250

for various full-scale  $g$  levels and approximate circuit bandwidths. For bandwidths other than those listed, use the formula:

$$C_f = \frac{1}{(2\pi R3) \text{ Desired 3dB Bandwidth in Hz}}$$

or simply scale the value of capacitor  $C_f$  accordingly; i.e., for an application with a 50 Hz bandwidth, the value of  $C_f$  will need to be twice as large as its 100 Hz value. If further noise reduction is needed while maintaining the maximum possible bandwidth, a 2- or 3-pole post filter is recommended. These provide a much steeper roll-off of noise above the pole frequency. Figure 21 shows a circuit that provides 2-pole post filtering. Component values for the 2-pole filter were selected to operate the first op amp at unity gain. Capacitors  $C3$  and  $C4$  were chosen to provide 3 dB bandwidths of 10 Hz, 30 Hz, 100 Hz and 300 Hz.

The second op amp offsets and scales the output to provide a  $+2.5 \text{ V} \pm 2 \text{ V}$  output over a wide range of full-scale  $g$  levels.

### APPLICATION HINTS

#### ADXL250 Power Supply Pins

When wiring the ADXL250, be sure to connect BOTH power supply terminals, Pins 14 and 13.

#### Ratiometric Operation

Ratiometric operation means that the circuit uses the power supply as its voltage reference. If the supply voltage varies, the accelerometer and the other circuit components (such as an ADC, etc.) track each other and compensate for the change.

Figure 22 shows how both the zero  $g$  offset and output sensitivity of the ADXL150/ADXL250 vary with changes in supply voltage. If they are to be used with nonratiometric devices, such as an ADC with a built-in 5 V reference, then both components should be referenced to the same source, in this case the ADC reference. Alternatively, the circuit can be powered from an external +5 volt reference.

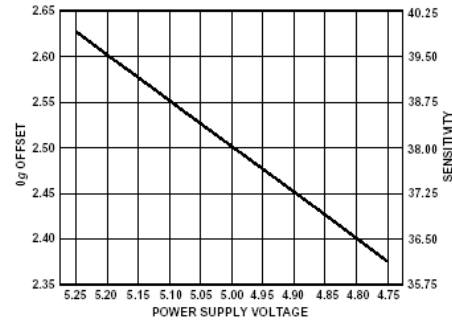


Figure 22. Typical Ratiometric Operation

Since any voltage variation is transferred to the accelerometer's output, it is important to reduce any power supply noise. Simply following good engineering practice of bypassing the power supply right at Pin 14 of the ADXL150/ADXL250 with a 0.1  $\mu\text{F}$  capacitor should be sufficient.

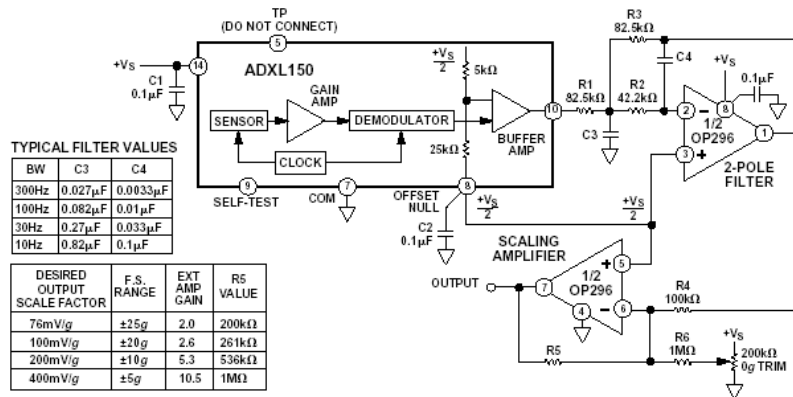


Figure 21. Two-Pole Post Filter Circuit

## ADXL150/ADXL250

### Additional Noise Reduction Techniques

Shielded wire should be used for connecting the accelerometer to any circuitry that is more than a few inches away—to avoid 60 Hz pickup from ac line voltage. Ground the cable's shield at only one end and connect a separate common lead between the circuits; this will help to prevent ground loops. Also, if the accelerometer is inside a metal enclosure, this should be grounded as well.

### Mounting Fixture Resonances

A common source of error in acceleration sensing is resonance of the mounting fixture. For example, the circuit board that the ADXL150/ADXL250 mounts to may have resonant frequencies in the same range as the signals of interest. This could cause the signals measured to be larger than they really are. A common solution to this problem is to damp these resonances by mounting the ADXL150/ADXL250 near a mounting post or by adding extra screws to hold the board more securely in place.

When testing the accelerometer in your end application, it is recommended that you test the application at a variety of frequencies to ensure that no major resonance problems exist.

### REDUCING POWER CONSUMPTION

The use of a simple power cycling circuit provides a dramatic reduction in the accelerometer's average current consumption. In low bandwidth applications such as shipping recorders, a simple, low cost circuit can provide substantial power reduction.

If a microprocessor is available, it can supply a TTL clock pulse to toggle the accelerometer's power on and off.

A 10% duty cycle, 1 ms on, 9 ms off, reduces the average current consumption of the accelerometer from 1.8 mA to 180  $\mu$ A, providing a power reduction of 90%.

Figure 23 shows the typical power-on settling time of the ADXL150/ADXL250.

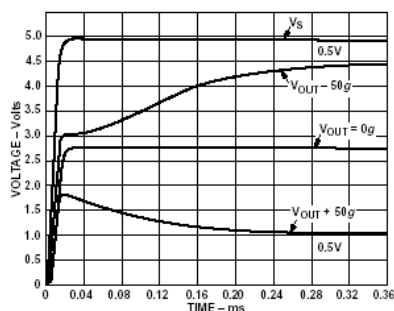


Figure 23. Typical Power-On Settling with Full-Scale Input. Time Constant of Post Filter Dominates the Response When a Signal Is Present.

### CALIBRATING THE ADXL150/ADXL250

If a calibrated shaker is not available, both the zero  $g$  level and scale factor of the ADXL150/ADXL250 may be easily set to fair accuracy by using a self-calibration technique based on the 1  $g$  acceleration of the earth's gravity. Figure 24 shows how gravity and package orientation affect the ADXL150/ADXL250's output. With its axis of sensitivity in the vertical plane, the ADXL150/ADXL250 should register a 1  $g$  acceleration, either positive or negative, depending on orientation. With the axis of sensitivity in the horizontal plane, no acceleration (the zero  $g$  bias level) should be indicated. The use of an external buffer amplifier may invert the polarity of the signal.

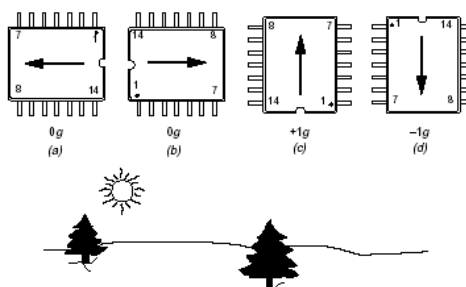


Figure 24. Using the Earth's Gravity to Self-Calibrate the ADXL150/ADXL250

Figure 24 shows how to self-calibrate the ADXL150/ADXL250. Place the accelerometer on its side with its axis of sensitivity oriented as shown in "a." (For the ADXL250 this would be the "X" axis—its "Y" axis is calibrated in the same manner, but the part is rotated 90° clockwise.) The zero  $g$  offset potentiometer RT is then roughly adjusted for midscale: +2.5 V at the external amp output (see Figure 20).

Next, the package axis should be oriented as in "c" (pointing down) and the output reading noted. The package axis should then be rotated 180° to position "d" and the scale factor potentiometer, R1b, adjusted so that the output voltage indicates a change of 2  $g$ s in acceleration. For example, if the circuit scale factor at the external buffer's output is 100 mV per  $g$ , the scale factor trim should be adjusted so that an output change of 200 mV is indicated.

### Self-Test Function

A Logic "1" applied to the self-test (ST) input will cause an electrostatic force to be applied to the sensor that will cause it to deflect. If the accelerometer is experiencing an acceleration when the self-test is initiated, the output will equal the algebraic sum of the two inputs. The output will stay at the self-test level as long as the ST input remains high, and will return to the actual acceleration level when the ST voltage is removed.

Using an external amplifier to increase output scale factor may cause the self-test output to overdrive the buffer into saturation. The self-test may still be used in this case, but the change in the output must then be monitored at the accelerometer's output instead of the external amplifier's output.

Note that the value of the self-test delta is not an exact indication of the sensitivity (mV/ $g$ ) and therefore may not be used to calibrate the device for sensitivity error.

#### MINIMIZING EMI/RFI

The architecture of the ADXL150/ADXL250, and its use of synchronous demodulation, makes the device immune to most electromagnetic (EMI) and radio frequency (RFI) interference. The use of synchronous demodulation allows the circuit to reject all signals except those at the frequency of the oscillator driving the sensor element. However, the ADXL150/ADXL250 have a sensitivity to noise on the supply lines that is near its internal clock frequency (approximately 100 kHz) or its odd harmonics and can exhibit baseband errors at the output. These error signals are the beat frequency signals between the clock and the supply noise.

Such noise can be generated by digital switching elsewhere in the system and must be attenuated by proper bypassing. By inserting a small value resistor between the accelerometer and its power supply, an RC filter is created. This consists of the resistor and the accelerometer's normal 0.1  $\mu$ F bypass capacitor. For example if  $R = 20\ \Omega$  and  $C = 0.1\ \mu$ F, a filter with a pole at 80 kHz is created, which is adequate to attenuate noise on the supply from most digital circuits, with proper ground and supply layout.

Power supply decoupling, short component leads, physically small (surface mount, etc.) components and attention to good grounding practices all help to prevent RFI and EMI problems. Good grounding practices include having separate analog and digital grounds (as well as separate power supplies or very good decoupling) on the printed circuit boards.

#### INTERFACING THE ADXL150/ADXL250 SERIES *i*MEMS ACCELEROMETERS WITH POPULAR ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTERS.

##### Basic Issues

The ADXL150/ADXL250 Series accelerometers were designed to drive popular analog-to-digital converters (ADCs) directly. In applications where both a  $\pm 50\ g$  full-scale measurement range and a 1 kHz bandwidth are needed, the  $V_{OUT}$  terminal of the accelerometer is simply connected to the  $V_{IN}$  terminal of the ADC as shown in Figure 25a. The accelerometer provides its (nominal) factory preset scale factor of  $+2.5\ V \pm 38\ mV/g$  which drives the ADC input with  $+2.5\ V \pm 1.9\ V$  when measuring a 50  $g$  full-scale signal ( $38\ mV/g \times 50\ g = 1.9\ V$ ).

As stated earlier, the use of post filtering will dramatically improve the accelerometer's low  $g$  resolution. Figure 25b shows a simple post filter connected between the accelerometer and the ADC. This connection, although easy to implement, will require fairly large values of  $C_f$  and the accelerometer's signal will be loaded down (causing a scale factor error) unless the ADC's input impedance is much greater than the value of  $R_f$ . ADC input impedance's range from less than 1.5  $k\Omega$  up to greater than 15  $k\Omega$  with 5  $k\Omega$  values being typical. Figure 25c is the preferred connection for implementing low-pass filtering with the added advantage of providing an increase in scale factor, if desired.

##### Calculating ADC Requirements

The resolution of commercial ADCs is specified in bits. In an ADC, the available resolution equals  $2^n$ , where  $n$  is the number of bits. For example, an 8-bit converter provides a resolution of  $2^8$  which equals 256. So the full-scale input range of the converter divided by 256 will equal the smallest signal it can resolve.

In selecting an appropriate ADC to use with our accelerometer we need to find a device that has a resolution better than the measurement resolution but, for economy's sake, not a great deal better.

For most applications, an 8- or 10-bit converter is appropriate.

The decision to use a 10-bit converter alone, or to use a gain stage together with an 8-bit converter, depends on which is more important: component cost or parts count and ease of assembly.

Table II shows some of the tradeoffs involved.

Table II.

	8-Bit Converter and Op Amp Preamp	10-Bit (or 12-Bit) Converter
Advantages:	Low Cost Converter	No Zero $g$ Trim Required
Disadvantages:	Needs Op Amp Needs Zero $g$ Trim	Higher Cost Converter

Adding amplification between the accelerometer and the ADC will reduce the circuit's full-scale input range but will greatly reduce the resolution requirements (and therefore the cost) of the ADC. For example, using an op amp with a gain of 5.3 following the accelerometer will increase the input drive to the ADC from 38  $mV/g$  to 200  $mV/g$ . Since the signal has been gained up, but the maximum full-scale (clipping) level is still the same, the dynamic range of the measurement has also been reduced by 5.3.

Table III. Typical System Resolution Using Some Popular ADCs Being Driven with and without an Op Amp Preamp

Converter Type	$2^n$	Converter mV/Bit (5 V/2 <sup>n</sup> )	Preamp Gain	SF in mV/g	FS Range in $g$ 's	System Resolution in $g$ 's (p-p)
8 Bit	256	19.5 mV	None	38	$\pm 50$	0.51
	256	19.5 mV	2	76	$\pm 25$	0.26
	256	19.5 mV	2.63	100	$\pm 20$	0.20
	256	19.5 mV	5.26	200	$\pm 10$	0.10
10 Bit	1,024	4.9 mV	None	38	$\pm 50$	0.13
	1,024	4.9 mV	2	76	$\pm 25$	0.06
	1,024	4.9 mV	2.63	100	$\pm 20$	0.05
	1,024	4.9 mV	5.26	200	$\pm 10$	0.02
12 Bit	4,096	1.2 mV	None	38	$\pm 50$	0.03
	4,096	1.2 mV	2	76	$\pm 25$	0.02
	4,096	1.2 mV	2.63	100	$\pm 20$	0.01
	4,096	1.2 mV	5.26	200	$\pm 10$	0.006

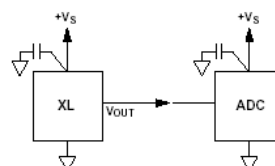
Table III is a chart showing the required ADC resolution vs. the scale factor of the accelerometer with or without a gain amplifier. Note that the system resolution specified in the table refers

## ADXL150/ADXL250

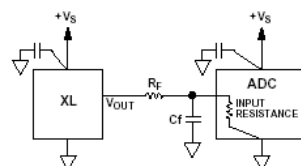
to that provided by the converter and preamp (if used). It is necessary to use sufficient post filtering with the accelerometer to reduce its noise floor to allow full use of the converter's resolution (see post filtering section).

The use of a gain stage following the accelerometer will normally require the user to adjust the zero  $g$  offset level (either by trimming or by resistor selection—see previous sections).

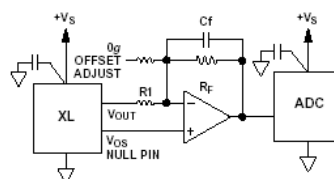
For many applications, a modern “economy priced” 10-bit converter, such as the AD7810 allows you to have high resolution without using a preamp or adding much to the overall circuit cost. In addition to simplicity and cost, it also meets two other necessary requirements: it operates from a single +5 V supply and is very low power.



a. Direct Connection, No Signal Amplification or Post Filtering



b. Single-Pole Post Filtering, No Signal Amplification

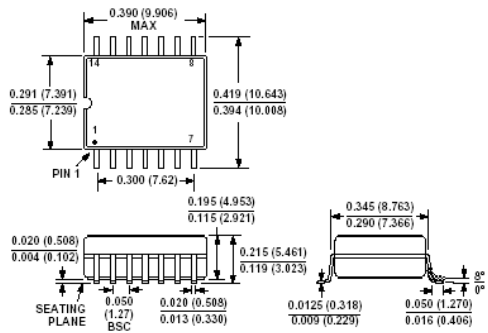


c. Single-Pole Post Filtering and Signal Amplification

Figure 25. Interfacing the ADXL150/ADXL250 Series Accelerometers to an ADC

OUTLINE DIMENSIONS  
Dimensions shown in inches and (mm).

14-Lead Cerpac  
(QC-14)



C2949-9-4198

PRINTED IN U.S.A.

## Anexo 3. Hoja de especificaciones del sensor de velocidad GS1012

### GEARTOOTH SPEED SENSOR

# GS1012 Series



Flange mount gear sensor rated to 125°C.

#### Features

- Senses motion of ferrous geartooth targets
- Near zero speed sensing capability
- Immune to rotational alignment
- 10 bit dynamic threshold detection offers:
  - Automatically adjusting magnetic range
  - Self compensating to target geometry
  - Immune to target run out
- Compatible with unregulated power supply
- Reverse battery protected to -24VDC
- Internal circuit protection to IEC529 1000
  - EMI resistant to 10V/m, 30MHz to 1GHz
  - ESD resistant to 4kV (contact discharge)
  - Fast transient resistant to 2kV
- Conducted immunity resistant to 10VRMS @ 150kHz to 80MHz
- EMC compatible 30A/m @ 50Hz
- Meets IEC529 IP67 for dust and water protection
- Integral Connector: 3-pin Delphi Metri Pack 150.2 Series No. 12162833 mates with Delphi 12162280 and 12162279
- Discrete wire version: 22 AWG, tin plated, polyolefin insulation
- 150°C version also available. Consult factory

#### Applications

- Wheel speed
- Transmission speed
- Anti-lock braking systems

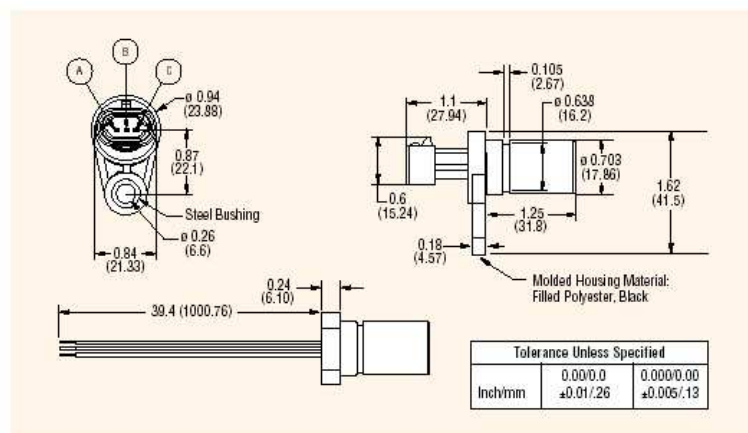
#### Specifications

Part Number	Operating Voltage Range (VDC)	Supply Current (mA max.)	Output	Output Saturation Voltage (mV max.)	Output Current (mA max.)	Operating Temp Range (°C)	Storage Temp Range (°C)	Leads	Connector
GS101201	5.0 – 24	6	sink	400	25	-40 to 125	-40 to 125	—	Delphi*
GS101202	5.0 – 24	6	sink	400	25	-40 to 125	-40 to 125	22 AWG x 1m BBB	—

\*Metripak 150 Series. Mates with Delphi 12162280 and 12162279.

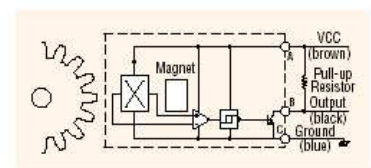
Notes: These sensors require the use of an external pull-up resistor, the value of which is dependent on the supply voltage. See page 18 for recommendations. Pull-up resistor should be connected between output (Black) and Vcc (Brown).

#### Dimensions inches (mm)



Specifications subject to change without notice.

#### Open Collector Sinking Block Diagram



## Current Sink Interfacing

### 3-Wire Sinking Interface

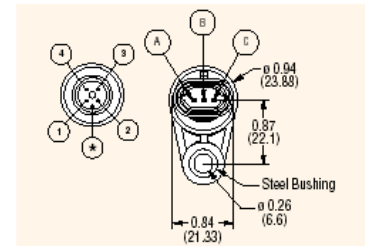
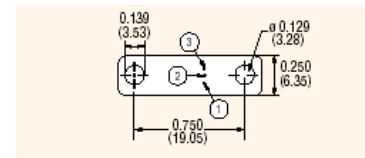
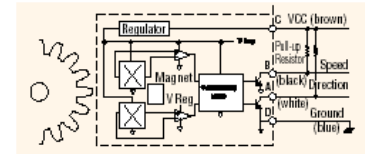
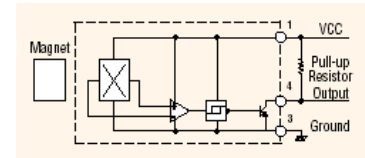
Sinking outputs are often used in negative logic applications, where a low signal is required for an active state. There, sinking outputs normally have current flowing into the device output lead when the device is active. Also called “open collector outputs,” sinking outputs are compatible with any logic family since a wide voltage range may be used for Vcc. Furthermore, the voltage level used to power the Hall effect assembly may differ from the pull-up resistor to which it is attached. The external pull-up resistor connected between the output and Vcc is required for proper operation. With the resistor connected as shown, the output will be “pulled up” to Vcc when off and (approximately) to ground when on.

Recommended pull-up resistor values are as follows:

Volts dc	5	9	12	15	24
Ohms	470	820	1.2k	1.5k	2.2k

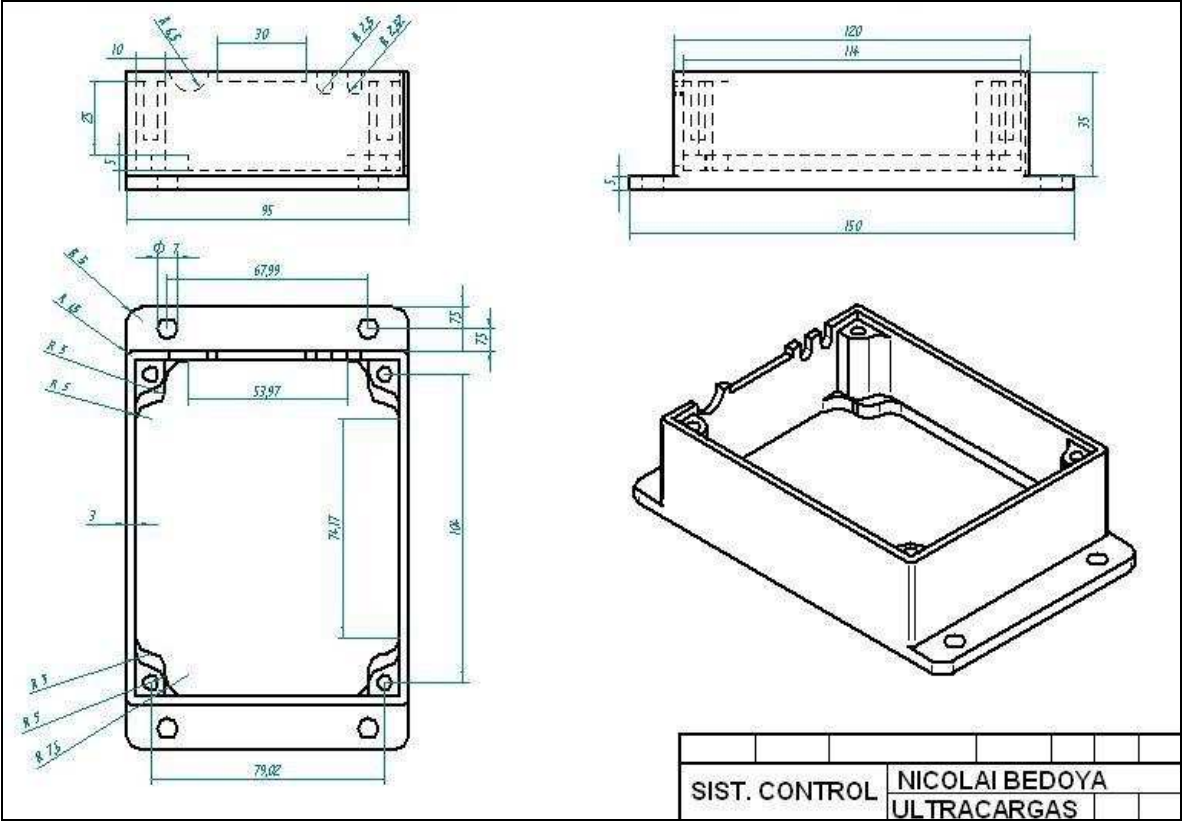
Sensor Series	Connector Type	Vcc	Output	Connection Grid	Ground	Direction	Speed
MP	12mm circular	1	4	3	N/A	N/A	N/A
	Wire Lead	Brown	Black	Blue	N/A	N/A	N/A
	Wire Lead	Red	Green	Black	N/A	N/A	N/A
GS	12mm circular	1	4	3	N/A	N/A	N/A
	Wire Lead	Brown	Black	Blue	N/A	N/A	N/A
	Delphi	A	B	C	N/A	N/A	N/A
VN	Pin	1	3	2	N/A	N/A	N/A
	Wire Lead	Red	Green	Black	N/A	N/A	N/A
SD	Wire Lead	Brown	—	Blue	White	Black	Black
	Delphi	C	—	D	A	B	B

Specifications subject to change without notice.





Anexo 4. Planos de la estructura de soporte del sistema electrónico



## Anexo 5. Planos tarjeta electrónica

